



**Escola de Camins**

Escola Tècnica Superior d'Enginyeria de Camins, Canals i Ports  
UPC BARCELONATECH

## El Transporte a la Demanda (TAD) en la mejora de la movilidad urbana

Treball realitzat per:

**Javier Guimerà Tena**

Dirigit per:

**Miquel Àngel Estrada Romeu**

Màster en:

**Enginyeria de Camins, Canals i Ports**

Barcelona, Setembre de 2019

Departament d'Enginyeria Civil i Ambiental (DECA)

**TREBALL FINAL DE MÀSTER**

## **Agradecimientos**

*A mi familia, por haber estado a mi lado en los momentos difíciles donde la duda podía con la razón y haberme sujetado en los de éxito para que mantuviera los pies en la tierra.*

*A mis compañer@s de Camins, con los que tanto he vivido durante estos últimos 7 años y que, aun con caminos diferentes, ya forman parte del selecto grupo de amigos de toda la vida.*

*Finalmente, a la escuela, a mis profesores y en especial a mi tutor, por haberme hecho participe de su conocimiento y haber convertido un joven de Castellón con una maleta cargada de ilusiones en un ingeniero del mundo.*

*Muchas gracias, moltes gracies, merci beaucoup, thank you very much!*

Javier

## RESUMEN

En el contexto de la movilidad actual, caracterizado por una predominancia del vehículo privado con sus externalidades intrínsecas, la movilidad urbana ocupa un lugar central, a la vez por su complejidad como por sus necesidades urgentes. Principalmente, existen en las ciudades dos tipos de modos urbanos compartidos: el autobús y el taxi. De implantación histórica y con largo recorrido, constituyen los polos opuestos de un sistema de transporte urbano que ha sido incapaz de hacer frente a un vehículo privado más flexible, disponible y cómodo.

Existe pues un espacio intermedio entre estos dos capaz de ser ocupado por un modo de transporte híbrido de gran potencial que ha sido poco explotado hasta ahora. Se trata del Transporte a la Demanda (TAD) o Demand-Responsive Transport (DRT), en inglés. Establecido a finales del siglo XX con esquemas de bajo rendimiento, se haya actualmente en fase de expansión gracias al desarrollo de las nuevas tecnologías. Se trata de un modo flexible, con paradas y rutas dinámicas creadas según la demanda, asegurando los trayectos compartidos y garantizando niveles altos de servicio y eficiencia. El presente trabajo se enmarca en este contexto y apuesta por la implantación urbana del TAD para la mejora de la movilidad de zonas mal servidas o con demanda baja o irregular cuando los sistemas fijos no resultan adecuados.

Para ello, se realiza un análisis de las principales problemáticas de la movilidad urbana y de la situación actual del Transporte a la Demanda. Evidenciado su potencial en la mejora deseada, se diseña un modelo pautado de implantación basado en la optimización de servicios flexibles que permite determinar cual es la mejor modalidad de TAD para cada zona de una ciudad teniendo en cuenta el coste total del sistema a escala urbana. Estos conocimientos son aplicados al caso de Castellón de la Plana, ciudad de la costa este española, para la que se desarrolla un análisis e implantación completos, determinando cuál sería la mejor configuración de un hipotético futuro servicio de TAD urbano llamado Flexicas. Finalmente, se hace una reflexión de los elementos a tener en cuenta para su implantación en condiciones y operación reales.

**Palabras clave:** Transporte a la Demanda, movilidad urbana, modelo de implantación, Castellón.

## RESUM

En el context de la mobilitat actual, caracteritzat per una predominança del vehicle privat amb les seues externalitats intrínseques, la mobilitat urbana ocupa un lloc central, alhora per la seua complexitat com per les seues necessitats urgents. Principalment, existeixen a les ciutats dos tipus de modes urbans compartits: l'autobús i el taxi. D'implantació històrica i amb llarg recorregut, constitueixen els pols oposats d'un sistema de transport urbà que ha estat incapaç de fer front a un vehicle privat més flexible, disponible i còmode.

Hi ha doncs un espai intermedi entre aquests dos capaç de ser ocupat per un mode de transport híbrid de gran potencial que ha estat poc explotat fins ara. Es tracta del Transport a la Demanda (TAD) o Demand-Responsive Transport (DRT), en anglès. Establert a la fi del segle XX amb esquemes de baix rendiment, es troba actualment en fase d'expansió gràcies al desenvolupament de les noves tecnologies. Es tracta d'un mode flexible, amb parades i rutes dinàmiques creades segons la demanda, assegurant els trajectes compartits i garantint nivells alts de servei i d'eficiència. El present treball s'emmarca en aquest context i aposta per la implantació urbana del TAD per a la millora de la mobilitat de zones mal servides o amb demanda baixa o irregular quan els sistemes fixos no resulten adequats.

Per a això, es realitza una anàlisi de les principals problemàtiques de la mobilitat urbana i de la situació actual del Transport a la Demanda. Evidenciat el seu potencial en la millora desitjada, es dissenya un model pautat d'implantació basat en l'optimització de serveis flexibles que permet determinar quina és la millor modalitat de TAD per a cada zona d'una ciutat tenint en compte el cost total del sistema a escala urbana. Aquests coneixements són aplicats al cas de Castelló de la Plana, ciutat de la costa est espanyola, per a la qual es desenvolupa una anàlisi i implantació complets, determinant quina seria la millor configuració d'un hipotètic futur servei de TAD urbà anomenat Flexicas. Finalment, es fa una reflexió dels elements a tenir en compte per a la seua implantació en condicions i operació reals.

**Paraules clau:** Transport a la Demanda, mobilitat urbana, model d'implantació, Castelló.

## ABSTRACT

In the context of current mobility, characterized by a predominance of the private vehicle with its intrinsic externalities, urban mobility occupies a central place, both for its complexity and urgent needs. Mainly, there are two types of shared urban modes in the cities: the bus and the taxi. Of historical and long implantation, they constitute the opposite poles of an urban transport system that has been unable to cope with a more flexible, available and comfortable private vehicle.

There is therefore an intermediate space between these two that could be occupied by a hybrid mode of transport of great potential that has been little exploited until now. This is Demand-Responsive Transport (DRT). Established at the end of the 20th century with low performance schemes, it is currently in the expansion phase thanks to the development of new technologies. It is a flexible mode, with dynamic stops and routes created according to demand, ensuring shared trips and guaranteeing high levels of service and efficiency. This project is framed in this context and is committed to the urban implementation of DRT for the improvement of mobility in poorly served areas or with low or irregular demand when fixed systems are not adequate.

For this, an analysis of the main problems of urban mobility and the current situation of Demand-Responsive Transport is carried out. Having evidenced its potential in the desired improvement, an implementation model based on the optimization of flexible services is designed, allowing to determine which is the best DRT modality for each zone of a city considering the total cost of the system at urban scale. This knowledge is applied to the case of Castellón de la Plana, city of the Spanish east coast, for which a complete analysis and implementation is carried out, determining which would be the best configuration of a hypothetical future urban DRT service called Flexicas. Finally, a reflection is made on the elements to be considered for its implementation in real conditions and operation.

**Keywords:** Demand-Responsive Transport, urban mobility, implementation model, Castellón.

## RÉSUMÉ

Dans le contexte de la mobilité actuelle, caractérisée par une prédominance du véhicule privé avec ses externalités intrinsèques, la mobilité urbaine occupe une place centrale, à la fois pour sa complexité et ses besoins urgents. Il existe principalement deux types de modes urbains partagés dans les villes : le bus et le taxi. D'implantation historique et de long parcours, ils constituent les pôles opposés d'un système de transport urbain incapable de faire face à un véhicule privé plus flexible, disponible et confortable.

Il existe donc un espace central entre ces deux-là, susceptible d'être occupé par un mode de transport hybride à fort potentiel, peu exploité jusqu'à présent. Il s'agit du Transport à la Demande (TAD) ou Demand-Responsive Transport (DRT), en anglais. Établi à la fin du XXe siècle avec des systèmes peu performants, il est actuellement en phase d'expansion grâce au développement des nouvelles technologies. C'est un mode flexible, avec des arrêts et des itinéraires dynamiques créés en fonction de la demande, assurant des voyages partagés et garantissant des niveaux élevés de service et d'efficacité. Ce travail s'inscrit dans ce contexte et s'engage à mettre en œuvre le TAD en milieu urbain pour améliorer la mobilité dans les zones mal desservies ou à demande faible ou irrégulière lorsque les systèmes fixes ne sont pas adéquats.

Pour cela, une analyse des principaux problèmes de la mobilité urbaine et de la situation actuelle du Transport à la Demande est réalisée. Après avoir démontré son potentiel dans l'amélioration souhaitée, un modèle d'implémentation basé sur l'optimisation de services flexibles est conçu pour permettre de déterminer quelle est la meilleure modalité de TAD pour chaque zone d'une ville en tenant compte du coût total du système à l'échelle urbaine. Cette connaissance est appliquée au cas de Castellón de la Plana, ville de la côte est de l'Espagne, pour laquelle une analyse et une mise en œuvre complètes sont effectuées, déterminant quelle serait la meilleure configuration d'un hypothétique futur service TAD urbain appelé Flexicas. Enfin, une réflexion est faite sur les éléments à prendre en compte pour sa mise en œuvre dans des conditions réelles et de fonctionnement.

**Mots-clés :** Transporte à la Demanda, mobilité urbaine, modèle d'implantation, Castellón.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. Introducción .....	12
1.1 Motivación del TFM.....	14
1.2 Objetivos.....	14
1.3 Metodología.....	15
2. Contexto global .....	16
2.1 Nuevas tendencias.....	16
2.2 Adaptación del transporte .....	17
2.3 Un modelo insostenible.....	17
2.4 Necesidad de cambio .....	18
3. Problemática.....	19
4. El Transporte a la Demanda .....	20
4.1 Definición .....	20
4.2 Interés del TAD .....	21
4.3 Objetivos de su introducción .....	22
4.4 Orígenes y renacer tecnológico.....	23
4.5 Elementos de los sistemas flexibles .....	25
4.5.1 Territorio.....	25
4.5.2 Paradas.....	26
4.5.3 Horarios .....	26
4.5.4 Vehículos.....	26
4.5.5 Flexibilidad.....	27
4.5.6 Conductores.....	27
4.5.7 Tecnología.....	27
4.5.8 Reservas.....	27
4.5.9. Demanda.....	28
4.5.10 Financiación .....	28
4.6 Clasificación de esquemas .....	28
4.7 Casos de aplicación.....	29
4.8 Barreras y factores de éxito.....	30
5. El papel del TAD en la mejora de la movilidad urbana .....	33
5.1 Motivaciones para un TAD.....	33
5.2 Mejoras en la movilidad urbana.....	35
5.3 Implantación efectiva.....	36
5.4 Casos de uso y limitaciones .....	38
5.5 Otras soluciones .....	38
6. Modelos para la implantación .....	39
6.1 Modelización de la demanda de transporte.....	39

6.2 Modelos de optimización de diseños flexibles .....	41
6.3 Modelo de implantación de sistemas de TAD .....	46
6.3.1 Descripción y fundamentos .....	46
6.3.2 Variables.....	47
6.3.3 Etapas de aplicación .....	49
6.3.4 Resultados y elección .....	50
7. Aplicación del modelo al caso de Castellón.....	53
7.1 Razón de un caso aplicado .....	53
7.2 Castellón de la Plana.....	53
7.2.1 Características generales.....	54
7.2.2 Características del desarrollo urbanístico .....	58
7.2.3 Densidad de demanda y polos de atracción.....	68
7.3 Análisis de movilidad .....	68
7.3.1 Contexto de la movilidad castellonense .....	69
7.3.2 Transporte público colectivo .....	70
7.3.3 Vehículo privado .....	78
7.3.4 Marcha a pie .....	79
7.3.5 Movilidad ligera .....	80
7.3.6 Tráfico .....	81
7.3.7 Servicio local de taxi .....	82
7.3.8 Transporte a la Demanda: Taxicas .....	83
7.3.9 Plan de Movilidad Urbana Sostenible (PMUS).....	83
7.4 Conclusiones globales del análisis.....	87
7.5 El TAD como solución para Castellón .....	89
7.6 Propuesta de modificación de la red fija.....	90
7.7 Características del servicio de TAD a implantar .....	93
7.7.1 Zonas potenciales de implantación.....	94
7.7.2 Enfoques.....	96
7.7.3 Configuraciones.....	96
7.7.4 Valores escogidos .....	103
7.7.5 Región factible.....	105
7.8 Aplicación del modelo: resultados obtenidos .....	105
7.8.1 Enfoque A.....	106
7.8.2 Enfoque B.....	111
7.8.3 Comparación y elección de configuración .....	116
7.9 Evolución de las variables utilizadas .....	118
7.9.1 Evolución de la densidad de demanda.....	118
7.9.2 Evolución del tamaño de los vehículos .....	120
7.9.3 Otras evoluciones posibles .....	122



7.10 Análisis final de la implantación.....	123
8. Implantación real de un servicio dinámico.....	125
8.1 Generalización y límites de los modelos .....	125
8.2 La implantación directa como alternativa.....	125
8.3 El valor de la experiencia.....	126
8.4 Medidas complementarias .....	127
9. Conclusiones .....	129
9.1 Desarrollos y aportaciones del TFM.....	130
9.2 Límites del modelo y de su aplicación.....	130
9.3 Futuros desarrollos y evoluciones.....	131
9.4 Reflexión personal .....	132
10. Referencias bibliográficas .....	134

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Congestión en Barcelona (fuente: El País).....	12
Ilustración 2: Servicio TAD de los 90 (fuente: Dial-A-Ride, Scarborough, UK).....	13
Ilustración 3: Plan Cerdà de Barcelona (fuente: Museu d'Història de la Ciutat).....	16
Ilustración 4: Contaminación en Madrid (fuente: eldiario.es).....	18
Ilustración 5: TAD rural en Castilla y León (fuente: Nexobus).....	21
Ilustración 6: Aplicación de gestión de reservas de TAD (fuente: Padam Mobility).....	24
Ilustración 7: Conductora de TAD (fuente: TAD IDFM).....	27
Ilustración 8: Vehículo del antiguo Kutsuplus (fuente: Motorafondo).....	30
Ilustración 9: Anuncio del servicio de TAD nocturno de Padua, Italia (fuente: PadovaOggi) ...	34
Ilustración 10: División de la ciudad (fuente: [2]).....	37
Ilustración 11: Etapas del modelo (fuente: Wikipedia).....	40
Ilustración 12: Modalidad A (fuente: [8]).....	41
Ilustración 13: Modalidad B (fuente: [8]).....	42
Ilustración 14: Modalidad C (fuente: [8]).....	42
Ilustración 15: Variación de los costes (fuente: [8], elaboración propia).....	43
Ilustración 16: Evolución demográfica (fuente: [16]).....	54
Ilustración 17: Estructura de la población (fuente: [16]).....	55
Ilustración 18: Evolución menores de 16 años (fuente: [16]).....	55
Ilustración 19: Evolución mayores de 65 años (fuente: [16]).....	55
Ilustración 20: Evolución del nº de parados / población en edad de trabajar (fuente: [16]).....	56
Ilustración 21: Evolución gastos totales (fuente: [16]).....	57
Ilustración 22: Evolución ingresos totales (fuente: [16]).....	57
Ilustración 23: Evolución ingresos por habitante y presión fiscal por habitante (fuente: [16]) ..	57
Ilustración 24: Evolución inversión por habitante (fuente: [16]).....	58
Ilustración 25: Termino municipal de Castellón (fuente: [19]).....	58
Ilustración 26: Imagen aérea del término (fuente: [18]).....	59
Ilustración 27: Zonificación del suelo (fuente: [21]).....	60
Ilustración 28: Partidas del término municipal (fuente: [22]).....	61
Ilustración 29: Distritos y secciones electorales (fuente: [23]).....	61
Ilustración 30: División del término en distritos geográficos (fuente: [18]).....	62
Ilustración 31: Ejes principales del entramado urbano (fuente: elaboración propia).....	64
Ilustración 32: Detalle del distrito centro (fuente: [18]).....	66
Ilustración 33: Detalle del distrito norte (fuente: [18]).....	66
Ilustración 34: Detalle del distrito Grao (fuente: [18]).....	66
Ilustración 35: Detalle del distrito Este (fuente: [18]).....	67
Ilustración 36: Detalle del distrito sur (fuente: [18]).....	67
Ilustración 37: Detalle del distrito Oeste (fuente: [18]).....	67
Ilustración 38: Imagen de La Panderola, el antiguo tranvía de Castellón (fuente: El Mundo) ...	69
Ilustración 39: TRAM circulando por la vía reservada (fuente: [15]).....	70
Ilustración 40: Logo de TUCS (fuente: [28]).....	71
Ilustración 41: Plano de rutas de transporte colectivo (fuente: [15] [28]).....	72
Ilustración 42: Evolución comparativa entre servicios urbanos (fuente: [15]).....	76
Ilustración 43: Vehículos de turismo por 1000 hab. (fuente: [16]).....	78
Ilustración 44: Parkings y accesos del casco histórico (fuente: [15]).....	79
Ilustración 45: Punto Biciclas en el centro (fuente: Castellón Información).....	80
Ilustración 46: Nuevo carril bici CS-Almazora (fuente: Cadena Ser).....	81
Ilustración 47: Estado del tráfico un día laboral (fuente: [32]).....	82
Ilustración 48: Versión iOS de Taxicas (fuente: [36]).....	83
Ilustración 49: Logotipo Smart City (fuente: [15]).....	86
Ilustración 50: Detalle de la red en el centro histórico (fuente: [15] [28]).....	91
Ilustración 51: Zonas potenciales identificadas para el TAD (fuente: elaboración propia).....	94

Ilustración 52 : Zonas TAD configuración 1 (fuente: elaboración propia) .....	97
Ilustración 53: Zonas TAD configuración 2 (fuente: elaboración propia) .....	100
Ilustración 54: Zonas TAD configuración 3 (fuente: elaboración propia) .....	102
Ilustración 55: Configuración elegida para implantar Flexicas (fuente: elaboración propia) ...	117
Ilustración 56: Evolución de la demanda (fuente: [8], elaboración propia) .....	119
Ilustración 57: Logo de Padam Mobility (fuente: [44]) .....	126
Ilustración 58: Vía reservada del Tram de Castellón (fuente: Historias del tren) .....	128
Ilustración 59: Tarjeta universal Navigo de Paris (fuente: CNews) .....	128
Ilustración 60: Castellón, territorio del caso aplicado (fuente: Castelló Virtual) .....	129
Ilustración 61: Logo TAD IDFM (fuente: IDFM) .....	133
Ilustración 62: Logo AMTU (fuente: AMTU) .....	133

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Variables INPUT del modelo de optimización (fuente: [8], elaboración propia) .....	44
Tabla 2: Variables INPUT del modelo de optimización (fuente: [8], elaboración propia) .....	48
Tabla 3: Variables OUTPUT para definir la región factible (fuente: [8], elaboración propia) ...	48
Tabla 4: Resultados del modelo de optimización (fuente: [8], elaboración propia) .....	51
Tabla 5: Evolución de la frecuentación urbana (fuente: [6], elaboración propia) .....	74
Tabla 6: Evolución de la frecuentación 2014-2015 (fuente: [6], e. propia) .....	74
Tabla 7: Evolución de la frecuentación por línea (fuente: [6], e. propia) .....	75
Tabla 8: Usuarios del servicio urbano y población (fuente: [15], elaboración propia) .....	77
Tabla 9: Usuarios del servicio urbano e inversión pública (fuente: [15], e. propia) .....	85
Tabla 10: Variables de planificación INPUT (fuente: elaboración propia) .....	96
Tabla 11: INPUTS configuración 1 (fuente: elaboración propia) .....	98
Tabla 12: INPUTS configuración 1 (continuación) (fuente: elaboración propia) .....	99
Tabla 13: INPUTS configuración 2 (fuente: elaboración propia) .....	101
Tabla 14: INPUTS configuración 3 (fuente: elaboración propia) .....	103
Tabla 15: Región factible (fuente: elaboración propia) .....	105
Tabla 16: Resultados A1 (fuente: [8], elaboración propia) .....	106
Tabla 17: Resultados A1 (continuación) (fuente: [8], elaboración propia) .....	107
Tabla 18: Resultados A2 (fuente: [8], elaboración propia) .....	108
Tabla 19: Resultados A2 (continuación) (fuente: [8], elaboración propia) .....	109
Tabla 20: Resultados A3 (fuente: [8], elaboración propia) .....	110
Tabla 21: Resultados B1 (fuente: [8], elaboración propia) .....	111
Tabla 22: Resultados B1 (continuación) (fuente: [8], elaboración propia) .....	112
Tabla 23: Resultados B2 (fuente: [8], elaboración propia) .....	113
Tabla 24: Resultados B2 (continuación) (fuente: [8], elaboración propia) .....	114
Tabla 25: Resultados B3 (fuente: [8], elaboración propia) .....	115
Tabla 26: Valores de la evolución de los vehículos (fuente: elaboración propia) .....	120
Tabla 27: Modalidades y costes totales por evolución y zona (fuente: [6], e. propia) .....	121

## 1. Introducción

Nuestro presente se caracteriza por un contexto de crisis global que está afectando al conjunto de la sociedad. Una crisis que es global, no solo por tener un impacto sobre la mayoría y formar parte de nuestra vida cotidiana, sino también por abarcar distintos aspectos e incluir distintos campos como el económico, el medioambiental, el social y por supuesto el de la movilidad. No debe imaginarse esta crisis como el resultado de una acción concreta o de una decisión puntual, sino como la consecuencia de una acumulación de decisiones históricas que han dado lugar a un modelo de sociedad insostenible y cuya subsistencia está en el aire sin un cambio de tendencia que está tardando más de lo deseado y que un día ya no servirá de nada.

Ante esta situación, las últimas décadas se han caracterizado por una búsqueda de nuevas o antiguas soluciones a los principales problemas y cuya implementación y éxito ocupa una importancia creciente en las agendas públicas y privadas. En efecto necesidad de esta búsqueda y sobre todo de esta solución es de tal magnitud que no solo implica mirar hacia el futuro sino buscar en el pasado ideas u aplicaciones, fallidas o no, pero que pueden con los conocimientos futuros puedan ser de utilidad para el futuro.

Entre tanta generalidad destaca un campo histórico de la ingeniería, primero militar y luego civil, como es la movilidad, heredera del concepto original de transporte, o el desplazamiento de elementos físicos de un punto A a un punto B. La movilidad, rural o urbana, se ha convertido en un asunto central de los debates políticos y de las conversas del día a día. En efecto, las necesidades de desplazamiento han aumentado por la evolución humana y su devaluación del concepto de distancia, todo ello impulsado por los propios desarrollos tecnológicos que intentaban solucionar una necesidad del pasado. La solución



*Ilustración 1: Congestión en Barcelona (fuente: El País)*

ha sido el impulsor, y más transporte y capacidades de desplazamiento han llevado a la movilidad a las esferas que hoy en día conocemos. En el contexto de esta crisis global, la movilidad participa en todos los aspectos anteriormente mencionados y es a la vez resultado y consecuencia de las características de cada uno de ellos. Económica, social y medioambientalmente hablando la movilidad ocupa una posición central en el desarrollo y evolución humanas y el cambio de tendencia no puede producirse si no existe una revolución de la movilidad.

En este panorama, existe un modo de transporte perteneciente al pasado cuya relevancia y papel está experimentando una verdadera revolución. El Transporte a la Demanda pertenece en efecto al pasado, una práctica que ha existido desde años atrás informalmente, cuya formalización se produce a partir de los años 80 y que está viviendo ahora un renacer gracias al desarrollo de las nuevas tecnologías. Esta solución, muy popularizada en el Reino Unido (Ilustración 2), tuvo una implantación escasa u de corta duración en otros países y la aparición de la gestión automatizada



*Ilustración 2: Servicio TAD de los 90 (fuente: Dial-A-Ride, Scarborough, UK)*

de reservas, la creación de rutas en tiempo real y la esa búsqueda de soluciones que anteriormente se ha mencionado han supuesto un impulso.

Esta solución, intermedia entre las líneas de bus tradicionales y los taxis, permite ofrecer un servicio con el confort, la flexibilidad y la disponibilidad suficientes para hacer frente al vehículo privado, el gran dominador de la

movilidad de del último siglo. El uso del vehículo privado, impulsado por las crecientes necesidades de movilidad no satisfechas, es un elemento central de múltiples externalidades y uno de los grandes causantes de la crisis global actual. Un modo de transporte que tuvo un papel importante en el pasado pero que debe jugar un rol más secundario en el futuro sostenible que todos deseamos.

El Transporte a la demanda se erige pues como una alternativa realista y una solución estable cuyo mayor reto actual no es su popularización o desarrollo tecnológico sino su correcta implantación. La flexibilidad de este modo permite infinitas configuraciones en lo que constituye múltiples ofertas posibles para un territorio y una demanda. En el interés de todos los actores implicados esta que esta oferta se adapte lo mejor posible a una demanda a veces desconocida pero cuyas necesidades de movilidad son una realidad.

Con todo esto, no es trivial preguntarse si el Transporte a la Demanda tiene un papel potencial a jugar en la mejora de esta la movilidad urbana, cual puede ser este papel y que debe hacerse para maximizar su impacto. Preguntas cuya respuesta tampoco es trivial y que llevan a reflexionar sobre cuál debe ser la implatación de un TAD en un territorio determinado si quieren solucionarse las principales problemáticas de la movilidad urbana, provocar un cambio de tendencia y dar con ello un halo de luz a la crisis global que vive nuestra sociedad.

Sobre estas y otras cuestiones trata el presente proyecto, realizado como *Trabajo Final de Master (TFM)* y que culmina 7 años de una formación cuyos cimientos fueron puestos por Barcelona (Escola de Camins, UPC – BarcelonaTech) ([40], [43], [45], [46], [47] y [48]) y cuya consolidación se produjo en Paris (École des Ponts, ENPC – ParisTech) ([41], [42] y [44]). Para su realización se hará uso de conocimientos académicos y profesionales adquiridos en los dominios de la ingeniería civil, el transporte y la gestión del territorio y la movilidad, teniendo presentes aspectos de gran relevancia como el desarrollo sostenible, las externalidades medioambientales y la movilidad innovadora.

## **1.1 Motivación del TFM**

Por todo lo anteriormente mencionado, este Trabajo Final de Máster nace con la motivación, no solo de ser una muestra de todo lo aprendido en la etapa universitaria, sino también de mostrar las posibilidades del TAD y cómo puede llevarse a cabo una implantación en un caso real. De esta motivación son partícipes los problemas de la movilidad urbana y la necesidad de soluciones sostenibles que permitan mejorar la calidad de vida de los que, como yo, somos residentes habituales de esos entes ajetreados y hormigonados, conocidos como ciudades, pero que solemos llamar hogar.

## **1.2 Objetivos**

Son varios los objetivos que dan forma y sentido a este TFM. Se pretende en primer lugar hacer un repaso al contexto y problemática que han llevado a esta situación con un claro objetivo de concienciación colectiva. A continuación, dar a conocer un modo de transporte poco presente todavía en nuestras ciudades y por el cual se apuesta para la mejora de la movilidad urbana.

El objetivo principal, sin embargo, consiste en desarrollar y aplicar un procedimiento de implantación de transporte a la demanda que permita, tras el diseño de varias configuraciones, escoger la que mejor se adapta al territorio y ofrece la solución menos costosa, tanto para el operador como el usuario. El objetivo del TFM será pues mostrar cómo puede determinarse que modalidad y configuración TAD está más adaptada globalmente a un territorio y cuáles son las pautas a seguir para encontrarla.

Finalmente, este objetivo principal se complementa de un objetivo secundario consistente en hacer un inventario de los aspectos más importantes a tener en cuenta para llevar a cabo una

implantación efectiva y en condiciones reales. Se pretende con esto concienciar de la importancia de analizar, pero también de actuar.

### **1.3 Metodología**

En cuanto a la metodología seguida a lo largo de este proyecto, esta está estrechamente vinculada a los objetivos anteriormente expresados y se ha adaptado a cada una de las etapas que conforman el conjunto del TFM.

Se ha realizado en primer lugar una búsqueda bibliográfica cuya tipología de fuentes va desde los artículos de investigación universitaria, los estudios de casos aplicado y las publicaciones científicas, hasta las paginas oficiales de organismos públicos y privados implicados de alguna forma en el sector. De esta búsqueda se han concebido la mayoría de los apartados que ayudan a entender en contexto y las razones de la apuesta realizada.

A continuación, se hace un resumen del método principal para la modelización de la demanda y del modelo de optimización del profesor Miquel Estrada et al (2019) [8] cuyas formulaciones y funcionamiento son descritos adecuadamente y que constituirá la base del TFM. A partir de estos, se diseña un modelo de implantación pautado que, basándose en la aplicación del modelo de optimización, concretiza y define una lista de buenas prácticas.

En el apartado más extenso se lleva a cabo una aplicación del modelo anteriormente diseñado al caso de la ciudad de Castellón. Se busca con esto consolidar y validar lo anteriormente descrito y construir un ejemplo de cómo debe llevarse a cabo una implantación efectiva. Para ello se realiza un análisis global de la ciudad focalizándonos en sus características demográficas, urbanas y de movilidad para identificar cuáles son las principales problemáticas y qué zonas son potenciales para implantar un TAD. De este análisis surgen los valores de las variables características, input del modelo, y se definen varias configuraciones formadas por la consolidación de esas zonas. Entre estas configuraciones, y tras la aplicación del modelo de optimización, se escoge la configuración óptima que debería implantarse. Se ofrecen tanto sus características de diseño como una reflexión sobre las consecuencias de la evolución del territorio.

Finalmente, utilizando los conocimientos personales adquiridos, se hace ofrece una reflexión sobre la implantación real de un servicio TAD y cómo debe realizarse.

## 2. Contexto global

El presente proyecto, en el que se apuesta por utilizar el transporte a la demanda para mejorar la movilidad urbana, nace como respuesta a un contexto y unas problemáticas complejos que han alcanzado niveles peligrosamente insostenibles. Fruto de una acumulación de decisiones cortoplacistas que buscaban satisfacer las necesidades del momento, los territorios han ido desarrollando patrones de movilidad llamados a colapsar y que son ahora el eje central de múltiples líneas de investigación en busca de mejoras.

Este apartado no pretende ser un ensayo extenso sobre el contexto completo y problemáticas detalladas que afectan al conjunto de nuestra sociedad, sino una breve compilación de los elementos clave para entender el proyecto que se ha planteado.

### 2.1 Nuevas tendencias

El final del siglo XX estuvo caracterizado por importantes cambios demográficos cuyas consecuencias se observan en la actualidad. El aumento de la población total estuvo acompañado por un importante éxodo rural que obligaron a las ciudades a crecimientos rápidos y no siempre bien estructurados. El traslado masivo del lugar de residencia y la necesidad de nuevos desarrollos sorprendió a la mayoría de las ciudades, sobre todo las de tamaño medio, que no disponían de un plan a largo plazo como Barcelona (Ilustración 3). La distribución de la población en el territorio estuvo caracterizada por ser desigual demográficamente, irregular urbanísticamente y por un aumento de las diferencias entre zonas rurales y urbanas. Las soluciones de transporte que antes servían para ambos debieron adaptarse y los cambios demográficos obligaron no solo a una transformación urbana sino también a una reinvencción de la economía.



*Ilustración 3: Plan Cerdà de Barcelona (fuente: Museu d'Història de la Ciutat)*

Este primer éxodo rural fue reemplazado a principios de siglo por un interés creciente en las zonas periféricas de las ciudades, en detrimento de los centros densos y ajetreados y en busca de una cierta ruralidad urbana. Esto tuvo consecuencias. Así pues, la heterogeneidad a escala regional fue acompañada de una demanda irregular de servicios a escala local, agravándose la situación y apareciendo nuevas necesidades de movilidad y desplazamientos antes inexistentes.



## 2.2 Adaptación del transporte

Todos estos cambios territoriales forzaron al transporte público a reinventarse. Habiendo sido diseñados para una demanda estática conocida, esta adaptación no pudo realizarse a la velocidad de las transformaciones urbanas y éxodos demográficos. Las diferencias en las necesidades rurales y urbanas, los recursos limitados y el mayor interés económico de las ciudades condicionaron esta adaptación que fue ante todo desigual. El resultado fue, grandes extensiones rurales mal conectadas por el transporte público y forzadas a “modos motorizados e individuales” (Hough y Taleqani, 2018) [9], zonas urbanas densas “conectadas con transporte colectivo y fomentándose los modos no motorizados” [9] y zonas periurbanas con una situación intermedia entre las otras dos. Por otra parte, y positivamente, en el futuro esta distinción entre rural, periurbano y urbano “pasará a una progresión continua que permitirá adaptar mejor los transportes a las necesidades” [9].

En este contexto, y ante la falta de adaptación del transporte público, el gran beneficiado fue el vehículo privado. Popularizado a mediados de siglo, “ha tenido una predominancia creciente en muchos países desde los años 50” (Davison et al, 2012) [3] por su disponibilidad, comodidad y flexibilidad para adaptarse a las nuevas tendencias territoriales y dando lugar a “una progresiva marginalización del bus y a un aumento de su coste marginal de operación” [3]. Este “aumento del vehículo privado” (Wang et al, 2015) [13] no solo fue una solución instantánea pero cortoplacista a las necesidades de movilidad, sino que “impacto la viabilidad financiera del autobús convencional de 2 formas: reduciendo su demanda y fomentando desarrollos urbanos más dispersos” [13] pues “la utilización del automóvil particular no solo no resuelve las necesidades, sino que crea nuevos problemas de accesibilidad a ciudades y rurales” [13]. Así pues, la problemática que popularizó el uso del vehículo privado está siendo agravada por este mismo modo por un uso del territorio negativo en una espiral sin límites.

## 2.3 Un modelo insostenible

Las tendencias y soluciones anteriormente mencionadas han fomentado la consolidación de un modelo económico insostenible, cuyos hábitos de consumo y movilidad característica son negativos para la calidad de vida y subsistencia de las habitantes de un territorio. Este modelo, surgido por los años de bonanza económica y sobre el cual se han sustentado las económicas de los países occidentales tiene por principios la visión cortoplacista, el consumo desmesurado de recursos mientras estén disponibles y la búsqueda de la reducción de costes y el aumento de beneficios.

Sobre este modelo se ha diseñado y operado el transporte público tradicional, que, aunque ha mejorado la calidad de vida de muchas generaciones, siempre ha estado limitado por los intereses económicos. En efecto, al tratarse de servicios públicos deficitarios con una componente social clara, han visto como “el gasto total se ha reducido por la crisis, siendo esta reducción un 8% superior en rural que en urbano y un 6% mayor en las zonas de baja o media densidad que en las de alta densidad” (Delgado y Martínez, 2016) [5]. Así pues, no solo no ha sido capaz de adaptarse correctamente a las nuevas tendencias, sino que se ha visto fuertemente impactado por la crisis “con los recortes en los presupuestos públicos y siendo particularmente vulnerables” [5] y a causa de un modelo mal concebido.

Por otra parte, la insostenibilidad del modelo queda patente en el contexto del cambio climático por el calentamiento global y el consumo excesivo de recursos no renovables. El transporte es una de las principales fuentes de emisión de CO<sub>2</sub> no solo por el uso de motores de combustión sino por la ineficiencia en los trayectos realizados por la mayoría de los modos. En efecto, tanto



*Ilustración 4: Contaminación en Madrid (fuente: eldiario.es)*

el uso del vehículo privado y sus bajos niveles de ocupación, como los transportes colectivos circulando parcialmente vacíos por no ser capaces de responder con precisión a la demanda, agravan la situación, fomentando el cambio climático y le inhabilitación de las ciudades por la emisión de gases nocivos (Ilustración 4).

## **2.4 Necesidad de cambio**

Por todo lo mencionado, en los últimos años la sociedad se ha volcado en un cambio de modelo que permita un desarrollo sostenible. El cambio climático y la visión cortoplacista de reducción de costes están dando lugar a la implantación de modos limpios y eficientes que permitan un desarrollo a largo plazo y gracias a los cuales solucionar los problemas de hoy no impida vivir mañana. “La necesidad de alternativas viables es mayor ahora que nunca, con el aumento del desempleo, el envejecimiento de la población y los problemas económicos y medioambientales” (Davison et al, 2012) [3]. Es este contexto esperanzador, consecuencia de los errores del pasado, en el que se basa este proyecto y en el que se apuesta por el TAD.

### 3. Problemática

De todo el contexto anteriormente descrito puede extraerse la problemática de la movilidad urbana a ser confrontada y que determina los objetivos de una implantación de TAD como la pretendida en este proyecto. Esta puede resumirse como:

- El reparto modal actual está caracterizado por un desequilibrio en beneficio del vehículo privado y un transporte público que ha perdido peso en desplazamientos que no son estrictamente urbanos. El crecimiento urbano y las evoluciones demográficas generalmente no están condicionadas por el transporte público, cuyo bajo nivel de servicio es incapaz de fomentar un reparte modal. Los modos de transporte público tradicionales son incapaces de garantizar un nivel de servicio mínimo y confort que garantice un cambio necesario. Esta tendencia, acentuada en ciudades de pequeño y mediano tamaño debe reconducirse para minimizar las externalidades y mejorar la calidad de vida de los ciudadanos.
- Los recursos económicos limitados dan lugar a un nivel de inversiones irregular, no directamente ligado al crecimiento económico y mal distribuidas. Los importantes costes de operación y los escasos ingresos del transporte público, además de dificultar la rentabilización de la inversión en zonas poco densas o con demanda irregular, los han convertido en el objetivo de los recortes presupuestarios asumidos por las instituciones debido a la crisis económica. Deben buscarse modelos más eficientes económicamente.
- Las zonas menos densas o con demanda irregular y variable son un reto desde una perspectiva operacional, siendo difícil hallar un modo de transporte público tradicional que se adapte correctamente a las necesidades reales de estos territorios, siendo los modelos clásicos de operación limitados y agotados. Debe ofrecerse una solución de movilidad a estas zonas para garantizar una accesibilidad e igualdad de oportunidades a sus habitantes.
- En el contexto del cambio climático, los modos de transporte menos eficiente implican fuertes consumos de recursos y unas emisiones injustificadas. El transporte una de las principales fuentes de gases de efecto invernadero junto a la industria, teniendo además efectos negativos para la salud. Debe evitarse la circulación de buses grandes y vacíos con una solución a largo plazo.

Esta problemática y objetivos son a la vez la motivación y el reto de implantar el TAD.

## 4. El Transporte a la Demanda

Conocido el contexto sobre el que se construye el sentido de este proyecto y las problemáticas que deben ser confrontadas, procedemos a explicar la solución escogida. En este apartado se definirá el concepto y características principales del transporte a la demanda en general, haciendo un breve repaso a sus distintas modalidades y aplicaciones, presentando los distintos elementos que lo componen y las claves del éxito o fracaso de los servicios ya implantados. Las razones de haber escogido esta solución y como puede mejorar la movilidad urbana serán presentadas en el próximo apartado.

### 4.1 Definición

El Transporte a la Demanda (TAD), *Demand-Responsive Transport (DRT)*, en inglés, o *Transport à la Demande (TAD)*, en francés, es definido por el *Diccionario del español jurídico de la RAE* [14] como “un modo de transporte cuyo servicio se presta previa demanda del mismo y en el que uno o más de sus elementos (itinerario, horario, tipo de vehículo, conductor, etc.) están sometidos a las especiales necesidades del viajero y en alguna medida son decididos por él”. “Siendo un modo altamente flexible y con usos varios” (Laws et al, 2009) [10], es capaz de “transportar a los usuarios de acuerdo con sus necesidades” [10] precisas en un momento dado y conforme al diseño del servicio realizado previamente, que implica, entre otros, “establecer rutas, paradas y horarios, fijos o variables, o utilizar vehículos adecuados a la demanda existente” (Delgado y Martínez, 2016) [5].

En el marco de este proyecto, nos limitaremos al TAD como modo de transporte público, obviando sus aplicaciones en el sector privado, tales como los servicios que conectan los hoteles con las terminales aeroportuarias o contratados por las empresas para los trayectos pendulares de sus trabajadores. Así pues, el TAD será un modo “disponible para el público general, que se ofrece con vehículos de poca capacidad, se adaptan a los cambios en la demanda modificando rutas u horarios y que presenta tarifas por pasajero” (Davison et al, 2014) [4]. Esta considerado “una forma intermedia de transporte público situada entre los servicios de rutas regulares recorridas por autobuses y los flexibles altamente personalizados ofrecidos por los taxis” [3] [10]. En efecto, “combina los beneficios del bus y el taxi para ofrecer un cierto nivel de transporte público alternativo barato y comprensible a las zonas de baja demanda” (Wang et al, 2015) [13].

## 4.2 Interés del TAD

El TAD es “una solución que se está volviendo más y más popular” [13] por sus aplicaciones y beneficios. Diseñados para resolver los problemas de la sociedad en términos de accesibilidad, se han erigido como soluciones interesantes confirmadas por los números casos aplicados. Entre las razones para “haberse vuelto una herramienta de popularidad creciente” (Laws et al, 2009) [10] están: “la insatisfacción con el transporte público, la dispersión del uso del territorio causa y consecuencia del creciente uso del vehículo privado, la falta de adaptabilidad de los modos convencionales y los intereses políticos en mejorar los servicios sociales” [10]. Otras razones son: “los recortes del subsidio al transporte público, las tendencias sociales como los altos niveles de desempleo y el envejecimiento de la población y la popularización y desarrollo de las nuevas tecnologías” (Davison et al, 2014) [4].

Así pues, es un modo interesante por ser capaz de ocupar el espacio entre el taxi y el bus para satisfacer las necesidades de la población, pudiendo fomentar el reporte modal y aumentar la integración del transporte público. Desde una perspectiva operacional es “más conveniente, más simple y menos costoso para mejorar la eficacia y eficiencia de los servicios de transporte” (Bayne et al, 2018) [1] que otras soluciones y, además, “mejora la integración y conectividad de los sistemas mediante la tecnología móvil aumentando el acceso” [1]. Ofrece “a los proveedores de transporte publico una solución más flexible y eficiente” (Davison et al, 2012) [3] para cuando los servicios tradicionales no lo son, permitiendo reducir gastos.

Por otra parte, el interés por el TAD contrasta entre los países en desarrollo y los desarrollados. En los primeros, se utiliza en “corredores urbanos densos, atrayendo a demanda suficiente para crear servicios rentables al ser más atractivos, rápidos y confortables” (Davison et al, 2014) [4] que otros modos. En los países más desarrollados, el TAD es principalmente un servicio público y “se ha focalizado en responder a las necesidades de movilidad” [4] existentes, habiéndose “regulado y operando en zonas urbanas



*Ilustración 5: TAD rural en Castilla y León (fuente: Nexobus)*

periféricas o rurales de baja demanda (Ilustración 5), requiriendo un financiamiento público” [4] y siendo por lo general poco rentable a excepción de algunos nichos de mercado. Observamos

pues como la implantación de un mismo modo de transporte responde a objetivos diferentes según el contexto y necesidades del territorio.

Considerando pues un TAD como servicio público de un país desarrollado, son varias las motivaciones “para introducirlo en lugar del transporte público convencional” [4]:

- *La naturaleza rural de un área*: en las zonas rurales “hay pocos pasajeros distribuidos en muchos asentamientos pequeños” [4] y los servicios convencionales se ven obligados a “producir rutas complejas, servicios irregulares o ambos” [4].
- *Las necesidades de movilidad*: de aquellas personas que tienen dificultades para utilizar los servicios tradicionales (personas mayores, minusválidos...)
- *La inexistencia de servicios de bus*: cuando los servicios convencionales no son provistos comercialmente por su ineficiencia o limitaciones técnicas.

En definitiva, la implantación de un TAD debe pues estar motivada por “la necesidad social, la mejora de la accesibilidad o la disponibilidad de financiamiento”.

Por otra parte, el TAD tiene un interés particular para cada uno de los grupos de actores. En efecto, “las nuevas prestaciones favorecen a usuarios, operadores y administración” (Delgado y Martínez, 2016) [5] aportando un interés adicional por las “ventajas de la implantación” [5]. Según Delgado y Martínez (2016) [5] estas son:

- *Usuarios*: transporte cuando lo precise allí donde no existen líneas convencionales o son insuficientes, garantiza de prestación, rapidez del servicio al eliminar las paradas innecesarias e información en tiempo real.
- *Operador*: reducción de costes por la optimización de recorrido, incremento del número de viajeros al mejorar el servicio y mejora de la imagen.
- *Administración*: una herramienta de análisis para el control de la calidad del servicio, así como un mayor control y extrapolación de los resultados.

#### **4.3 Objetivos de su introducción**

Todas estas motivaciones “tienen un vínculo claro con los objetivos que debe afrontar un esquema de transporte” (Davison et al, 2014) [4], siendo la razón por la que fue implantado e indicadores de su éxito según si se han satisfecho o no. El TAD es “generalmente efectivo afrontado tales objetivos en sus diferentes categorías” [4] y su nivel de rendimiento estará relacionado con el “grado de cumplimiento de esos objetivos, el número de viajes y los subsidios

que cuesta” [4]. Davison et al (2014) [4] y Laws et al (2009) [10] los clasifican en 4 categorías de objetivos:

- *Geográfica*: mejorar o proveer accesibilidad y servicio a un área sin o con poco servicio de bus, reemplazando o completando a las redes tradicionales con una solución efectiva de transporte y sin referirse a un grupo social ni dar acceso a un servicio o actividad específica.
- *Social*: proveer a las necesidades sociales y dar soporte a los habitantes de comunidades aisladas, fomentando la inclusión social y reduciendo la exclusión de las zonas rurales o urbanas periféricas mediante la creación de vínculos cercanos que permitan una mejora de su calidad de vida.
- *Económica*: en la mayoría de los casos no es un objetivo primario sino secundario. En cualquier caso, mejorar el acceso a servicios y suministros locales como tiendas o locales de ocio tiene beneficios económicos para la sociedad. Además, el TAD permite proveer un servicio rentable y más eficiente y hacer con ello un mejor uso de los subsidios públicos
- *Medioambiental*: igualmente, no es un objetivo primario y en muchos casos no es un objetivo. Sin embargo, un TAD implica implantar un transporte sostenible que permite evitar los impactos medioambientales del vehículo privado siendo uno de los pocos modos capaz de hacerle frente.
- *Otros objetivos*: podría considerarse fomentar el intercambio y reporte modal

#### **4.4 Orígenes y renacer tecnológico**

Como ocurre con algunas evoluciones tecnológicas y científicas, es difícil determinar con exactitud cuál es el origen del Transporte a la Demanda. En efecto, no se trata de una innovación puntual sino de una acumulación de cambios y mejoras en el contexto de una profesionalización de este tipo de servicio lo que ha conducido al modo actual.

El Transporte a la Demanda, entendiéndose por su significado literal como el que necesita de solicitud previa para realizarse, ha existido desde que aparecieron las necesidades de movilidad. Las solicitudes informales para realizar trayectos precisos en fechas acordadas, los vehículos compartidos entre pasajeros con trayectos comunes o incluso el acceso en tiempo real a trayectos definidos que posteriormente eran adaptados a las nuevas necesidades son prácticas históricamente extendidas que aparecieron como respuesta a las necesidades de movilidad de los sectores humildes de una sociedad desigual.

El proceso de profesionalización que llevo a la implantación de servicios de TAD regulados culminó a finales del siglo XX con su desarrollo y popularización en el Reino Unido. “Desde 1970, el TAD ha sido visto como la solución a una gran variedad de problemas de transporte, donde los servicios tradicionales no son viables” (Davison et al, 2014) [4], si bien en aquella época “los servicios se contrataban mediante reserva previa con un margen de tiempo establecido” [4] y generalmente por llamada telefónica. Esta gestión manual de las reservas obligaba a una gestión también manual de la asignación de trayectos en un proceso sin optimización alguno que daba lugar a servicios baratos, pero no eficientes. En las décadas posteriores aparecieron sistemas de optimización básicos y de baja capacidad que ayudaron sin embargo a mejorar la ineficiencia antes mencionada.

El TAD se mantuvo en esta dinámica hasta el renacer y popularización que ha experimentado en las últimas décadas y que constituye su situación actual. El nuevo o creciente interés por el TAD está estrechamente vinculado al contexto social y económico actual. La crisis económica que comenzó en 2008 y que obligó a recortes en los sistemas tradicionales de transporte y a la búsqueda de soluciones más baratas o eficientes, las crecientes necesidades de movilidad por una realidad demográfica caracterizada por el despoblamiento de las zonas rurales y la migración hacia las ciudades en más oportunidades y que condujo a rápidas y no siempre correctas expansiones urbanas, y las problemáticas medioambientales ligadas al uso del vehículo privado y que amenazan con un calentamiento global del que somos víctimas y culpables, han dado lugar a un escenario idóneo para su popularización. La implantación de los primeros servicios modernos, “el conocimiento de su existencia y el efecto reclamo dieron lugar al rápido incremento de su utilización en un corto periodo de tiempo” (Delgado y Martínez, 2016) [5].

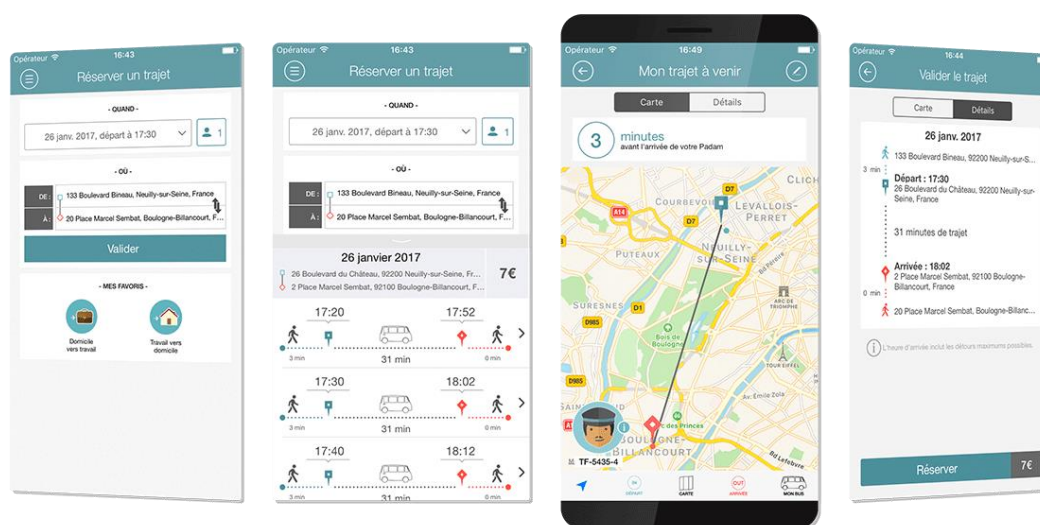


Ilustración 6: Aplicación de gestión de reservas de TAD (fuente: Padam Mobility)



Esta reinención y rápida expansión en lo que puede considerarse el *TAD 2.0* está estrechamente ligada al desarrollo tecnológico característico del conjunto de sectores que la ha hecho posible y ha supuesto el impulso definitivo. En efecto “se fueron introduciendo nuevas tecnologías que permitieron flexibilizar aún más el servicio, utilizar el vehículo más adecuado e informar en todo momento al viajero” [5]. Estas mejoras, aplicables y accesibles por la generalización del uso de los smartphones (Ilustración 6), van desde la gestión automática y en tiempo real de las reservas hasta la optimización real de trayectos y asignaciones pasando por la información a los usuarios y el pago informatizado. Estos procesos innovados han dado lugar a la aparición de nuevos actores, como las empresas SaaS y a la propia reinención de los operadores clásicos. El futuro es el presente.

Si bien no todos los nuevos TAD incluyen todos los avances tecnológicos del mercado, puede hablarse de un cambio de tendencia hacia el diseño de sistemas más potentes sin el cual el TAD no hubiera podido avanzar y popularizarse. En este sentido, “la mitad de los esquemas en las áreas rurales no utilizan softwares especializados siendo todavía servicios con reservas de lápiz y papel” (Laws et al, 2009) [10] pudiendo considerarse que “las soluciones de baja tecnología son solo apropiadas para los esquemas de TAD de bajo potencial” (Wang et al, 2015) [13].

#### **4.5 Elementos de los sistemas flexibles**

Los sistemas de Transporte a la Demanda están compuestos por una serie de elementos que, combinados correctamente, permiten diseñar servicios capaces de adaptarse a un tipo de demanda precisa. La elección que se haga para cada uno de ellos será pues determinante y deberá basarse tanto en el contexto que engloba la implantación del servicio como en los objetivos o problemas que se desean afrontar. Se considerará únicamente el contexto operacional de países desarrollados. Las componentes son:

##### *4.5.1 Territorio*

El primer elemento que debe definirse es el territorio preciso que debe cubrir el servicio de TAD. Un análisis global de movilidad, demografía, demanda y urbanismo es necesario para determinar los límites de este territorio. Existen diversas tipologías que van desde zonas rurales profundas a áreas periurbanas de alta densidad. Actualmente, “la mayoría de los esquemas operan en áreas rurales, pocos en urbano y algunos combinando los dos” (Laws et al, 2009) [10]. El tipo de territorio determina si es un TAD rural o urbano y condiciona el conjunto del diseño y elecciones hechas en los demás elementos.

#### *4.5.2 Paradas*

Conocido el territorio se determinan las paradas que serán incluidas en el TAD y que serán elegibles por los usuarios como puntos de partida y destino de sus trayectos. Debiendo situarse en puntos que permitan el estacionamiento seguro para el descenso de viajeros, suelen denominarse según los servicios o zona a la que dan acceso, pudiendo ser únicas o gemelas y exclusivas del TAD o compartidas con otros modos. Cada parada pertenece a una o más zonas de servicio cuya combinación mediante reglas operacionales determina el tipo de servicio que se ofrece y los trayectos posibles.

#### *4.5.3 Horarios*

En cuanto a los horarios de servicio, debe decirse si será un servicio de día o de noche y de cuantas horas semanales. Lo más frecuente son servicios “operadas 6 días de 7, de día y por la tarde, siendo de 41 a 60 horas a la semana lo más frecuente o de 61 a 80 horas también común” [10]. Los horarios deben definirse de acuerdo con las necesidades.

#### *4.5.4 Vehículos*

Debe escogerse tanto la tipología, que incluye el número de plazas y el tipo de propulsión, como la cantidad. La propulsión y la cantidad dependen del tipo de inversión que se desee realizar y las necesidades del sistema respectivamente.

En cuanto al tamaño, por ser “la provisión actual para el público general una evolución del transporte diseñado para mercados particulares” (Davison et al, 2014) [4], los minibuses son todavía la tipología más frecuente con “una diversidad creciente” (Davison et al, 2014) [4]. Los vehículos tienen “normalmente entre 8 y 16 asientos, siendo lo más común de 11 a 20 o de más 50 para zonas rurales” [10]. En zonas de muy baja demanda y dispersas, como las rurales profundas, vehículos tipo taxi “ofrecen una alternativa eficiente al transporte publico convencional y al TAD con buses”, siendo “los minibuses más apropiadas para esquemas semirrígidos en zonas más densas” [13]. Existen también servicios que “combinan minibús y taxis compartidos en operaciones conjuntas” [4]. En cualquier caso, se aconseja utilizar un número reducido de tipologías pues “muchos tipos de vehículos aumentan el riesgo de asumir costes extra” siendo la tecnología una forma de mitigarlo.

#### 4.5.5 Flexibilidad

Deben definirse las restricciones espaciales y/o temporales que caracterizarán al servicio y limitarán su flexibilidad. Mas restricciones implica menos flexibilidad y un esquema más próximo al del transporte colectivo convencional. El nivel de flexibilidad está estrechamente ligado a las características del territorio y los flujos de demanda por lo que precisa de un estudio detallado previa implantación. Frecuentemente, “se fijan los horarios, pero no los trayectos, permitiendo la creación flexible de las líneas” [4]. Las restricciones en la creación de trayectos “dan lugar a tres tipos: flexibles, semiflexibles y fijos” [10]. Los últimos “dependen generalmente del tiempo y la demanda”. Estos pueden combinarse con “esquemas flexibles en las horas valle y fijos cuando la demanda es alta en las horas punta” o con semiflexibles en ejes densos y flexibles en secciones externas”.



Ilustración 7: Conductora de TAD (fuente: TAD IDFM)

#### 4.5.6 Conductores

Los conductores que realizan los trayectos tienen contratos similares a los que se utilizan en las redes fijas, pudiendo ser los mismos y debiéndose determinar la cantidad.

#### 4.5.7 Tecnología

En cuanto al nivel tecnológico del TAD, no todos los esquemas tienen el mismo grado de automatización ni potencial de operación. Este “está influido por el tamaño, la escala, el nivel de flexibilidad y la disponibilidad de recursos” (Davison et al, 2014) [4] por lo que dependerá de los objetivos de la implantación y el financiamiento. Entre los sistemas existentes “aproximadamente 2/3 usan softwares de gestión de reservas y rutas” (Laws et al, 2009) [10]. Este porcentaje cambia según el tipo de territorio con “más de la mitad de los rurales no usando ningún software especializado” [10]. En general, “en los sistemas grandes y complejos, la tecnología tiene más potencial para la mejora de la creación de rutas y horarios” [4].

#### 4.5.8 Reservas

Según el nivel tecnológico, podrán realizarse o no reservas en tiempo real. Los tipos de reserva van desde “la llamada telefónica, la solicitud del vehículo en la parada, el SMS, la reserva online o vía una aplicación” [10]. Los servicios de alto potencial utilizan sistemas para la gestión

automática de reservas que son realizadas con antelación o en tiempo real mediante una aplicación. Únicamente los trayectos disponibles son propuestos.

#### *4.5.9. Demanda*

Al definir los objetivos para la implantación de un TAD deberá determinarse a qué tipo de demanda dará servicio, si estará abierto al público general o únicamente a sectores de la sociedad cuyas características los hacen más susceptibles (PMR, ancianos...). Las características de la población y los usuarios varían según el territorio. Por ejemplo, “la edad media de los usuarios va de menos de 15 años en Finlandia a 77 años en Gotemburgo, dos tercios de los usuarios en Bélgica son jubilados, parados y estudiantes, en Florencia, 4/5 de los usuarios son desempleados y estudiantes y al contrario que en Porta Romana donde el 84% son estudiantes o trabajadores” (Wang et al, 2015) [13].

#### *4.5.10 Financiación*

El TAD en los países desarrollados “no tiene razones comerciales ni su objetivo es hacer dinero excepto en nichos de mercado como los servicios a aeropuertos” [10]. La mayoría de los esquemas tienen “objetivos sociales” [4] como se ha mencionado. Esto condiciona el tipo de financiación para la implantación explotación de los servicios, que, a su vez, determina muchas veces el diseño de servicio. La cantidad de vehículos, nivel de flexibilidad y tecnología introducido dependerán de los fondos y recursos disponibles. La mayoría de los servicios tienen tarifas sociales para el usuario que oscilan “entre 0 y 5€ con la mayor parte de la financiación proviniendo de las autoridades locales u otras” [10]. En esta línea “más de la mitad de los servicios requerían subsidios de más de 5€ por persona y viaje con los TAD operando en zonas rurales necesitando niveles mayores”. [4]. Con la crisis económica muchas de las subvenciones fueron recortadas.

### **4.6 Clasificación de esquemas**

Existen tantas tipologías de TAD como combinaciones posibles de sus elementos y características. Esta variedad de esquemas que le caracteriza es un punto fuerte de este modo, permitiéndole adaptarse con precisión a la demanda y al territorio, pero también es una debilidad pues un error de diseño puede tener consecuencias muy negativas en el nivel de servicio y ser contraproducente.

Una posible clasificación distingue entre “los modelos TAD que implican compartir vehículos entre organizaciones (*vehicle sharing*), los que combinan trayectos con destinos comunes (*carpooling*) y los que usan la tecnología para organizar trayectos compartidos en tramos comunes (*ridesharing*)” (Davison et al, 2012) [3]. Otra clasificación, utilizada por Miquel Estrada et al (2019) [8] en su línea de investigación y que será presentada más adelante, distingue tres tipos de TAD según el nivel de flexibilidad espacial o temporal: flexible, el vehículo tiene libertad espacial total para servir cualquier trayecto solicitado entre las paradas definidas, semirrígido, el vehículo tiene libertad para desplazarse únicamente hacia delante sobre una directriz y en el interior de una región definida, y rígidos, las rutas están definidas, sirviéndose o no las paradas según la demanda.

Finalmente, existe una clasificación comercial utilizada por empresas como *Padam Mobility*, dedicadas a la implantación de sistemas de TAD y donde he trabajado durante el periodo dedicado a la realización de este proyecto [44]. Estas empresas desarrollan softwares de gran potencial, cuyas especificaciones y funcionamiento son confidenciales por razones de mercado. Desde una perspectiva cliente, existen múltiples tipologías o clasificaciones de TAD, tantas como el estado de desarrollo de los códigos en operación lo permita. Desarrollan desde servicios con apenas restricciones temporales y espaciales hasta líneas prácticamente fijas pasando por servicios de primer y último kilómetro.

#### 4.7 Casos de aplicación

El TAD presenta múltiples aplicaciones como servicio de transporte público en sus distintas tipologías, no siendo todas aptas para cualquier uso. El tipo de aplicación determinará los objetivos del nuevo servicio y condicionará su diseño. Algunos son

- Servicio PMR: garantiza el acceso a los servicios a las personas con movilidad reducida. Requiere un diseño que garantice la proximidad y vehículos accesibles.
- Transporte rural: sustituye a las líneas fijas dando un servicio completo a las poblaciones más aisladas y que presentan demanda irregular permitiendo el acceso a los servicios.
- Transporte periférico: ofrece un servicio público a las zonas menos densas y mal conectadas de la ciudad, con demandas irregulares espacial y temporalmente.
- Acceso a estaciones: en servicios con horarios coordinados con los de los trenes, permiten realizar el primer y último kilómetro de trayectos de larga distancia.
- Servicios pendulares: realizan trayectos por la mañana y la tarde para los trayectos domicilio-trabajo hacia o desde grandes superficies empresariales o polos de empleo.
- Acceso a servicios: realizan trayectos teniendo como origen o destino un servicio concreto (hospital, universidad, mercado, centro de ocio...)

Existen otros muchos casos de aplicación, siendo esta lista un breve inventario de los más comunes. Se ha omitido el TAD privado y los servicios dedicados a nichos de mercado o de altas prestaciones por no ser los que se aplicaran a lo largo de este proyecto.

#### 4.8 Barreras y factores de éxito

Finalmente, presentado el TAD, explicado su interés y el origen de su popularidad, los posibles objetivos posibles de su implantación y los elementos que, combinados correctamente, dan lugar a distintas tipologías con sus respectivas aplicaciones, procedemos a hacer una breve reflexión sobre los factores que influyen en su éxito.

“El TAD todavía no ha alcanzado su máximo potencial, el cual se está retrasando por las barreras prácticas, políticas, tecnológicas, sociales, económicas e institucionales siendo esta última y la falta de conocimiento del mercado los mayores bloqueos a su progreso en Europa y USA” (Davison et al, 2014) [4]. Esto se confirma con el análisis de casos aplicados reales, pues “en la

práctica, existen muchos ejemplos mundiales de esquemas prometedores de TAD que han fracasado” (Davison et al, 2012) [3], como el servicio *Kutsuplus* en Helsinki, Finlandia, cerrado en 2015 (Sulopuisto, 2016) [12] (Ilustración 8). Una causa frecuente de fracaso es el hecho que “el tipo o escala operacional de TAD



Ilustración 8: Vehículo del antiguo Kutsuplus (fuente: Motorafondo)

introducido no est apropiado para el mercado” [3]. En efecto, para muchos autores conscientes del éxito y potencial de este modo, ese contexto que le impulsa y da sentido presenta barreras capaces de frenar peligrosamente su éxito y que analizamos brevemente.

Como se ha mencionado, la ignorancia y la falta de conocimiento del territorio es una de las causas principales de fracaso. Una parte de estos conocimientos pueden obtenerse fácilmente mediante un análisis detallado previo al diseño e implantación de un TAD y que permite determinar “la cobertura y tamaño del área servida” [3] y asegurar que “el servicio provisto está adaptado al mercado que sirve, evitando por ejemplo ofrecer servicios premium en mercados socialmente necesitados” [3]. Por otra parte, en la implantación del TAD, existen ciertos conocimientos que no pueden obtenerse y que están ligados a “una barrera de servicio nuevo” [3]. El hecho de no existir casos aplicados de referencia en ciertos contextos dificulta la implantación

que siempre presentará una cierta ignorancia y conllevará algún tipo de riesgo. “Cuanto más complejo sea el sistema, más grande puede volverse esta barrera” [3].

En lo que respecta a las barreras institucionales y económicas, encontramos ejemplos como “el arraigo de los regímenes tradicionales, con sistemas complejos de obtención de permisos, seguros y tasas que frena a los operadores potenciales” (Wang et al, 2015) [13] o “los regímenes de subsidio de pobre diseño que solo incluyen inversiones y financiación a corto plazo” [13]. En lo que respecta a barreras tecnológicas, “en algunos casos el éxito del TAD depende en la inversión hecha en tecnología” [3]. En efecto, no incorporar niveles lo bastante elevados al ofrecer un servicio complejo o demasiada tecnología para un servicio de bajas prestaciones puede volver el servicio inoperable. Finalmente, como barreras sociales y prácticas, es posible que “conductores, operadores, políticos y el público general no haya comprendido como utilizar el servicio”, lo cual limita fuertemente su desarrollo y es causado normalmente por la “inexistencia de campañas de marketing, branding y acuerdos de colaboración con actores locales y políticos” [3].

Por todo ello, puede afirmarse que en su camino hacia el éxito un TAD deberá hacer frente a numerosas barreras, muchas de las cuales serán difícilmente evitables. En este sentido, el TAD debe aprovechar “la importancia de los factores contextuales” [3] que le ofrece el territorio para el que está siendo implantado. Así pues, habiendo confirmado su potencial “para lugares y horas de baja demanda” [3], con “una frecuencia de usos del servicio que crece según la densidad de demanda decrece” y “altos niveles de satisfacción” [13] y para servir a ciertos sectores de la población con “una necesidad de flexibilidad aceptable” [3], debe aprovechar esta posición ventajosa para realizar implantaciones primarias y seguras antes de afrontar otros mercados que desconoce.

Por otra parte, el TAD debe apoyarse en la posición estable de los servicios tradicionales. Así pues, “es importante construir una red fuerte de colaboradores y priorizar el completar y colaborar con otros servicios a competir contra ellos” (Bayne et al, 2018) [1]. Como dijo Aristóteles, *la suma de los elementos es mejor que los elementos solos*, por lo que no debe verse al TAD como un modo más o menos ventajoso que el transporte público tradicional, sino como un complemento y aliado ideal cuando el primero no muestra eficiencia. Los servicios dinámicos no pueden ni deben competir directamente con los fijos, cuyas aplicaciones son distintas. En este sentido, “una integración completa de los servicios, compartiendo vehículos entre modos y con pocos operadores transversales que ofrezcan al mismo tiempo servicios fijos y TAD, volviéndolos menos vulnerables a los gradientes de demanda” [3] sería un paso firme para lograr servicios TAD sostenibles y sólidos.

Por todo esto, y haciendo especial mención a la integración y la implantación del TAD en los mercados de la movilidad en los que es pertinente, debe hacerse referencia al concepto de *MaaS* (*Mobility-as-a-Service*). Esta concepción cree en la “importancia de los acuerdos y las relaciones fuertes entre actores” no solo operacionales sino también económicos, pasando de la competición a la colaboración y “destinando inversiones conjuntas al modo que mejor se adapte a cada tipo de demanda” [3]. El TAD tiene pues un papel a jugar en el MaaS y puede integrarse en la provisión del servicio de movilidad que plantea gracias a su flexibilidad y eficiencia al ofrecer una oferta adaptada a la demanda. Una regulación firme en este sentido que limite la competencia, la creación de autoridades del transporte y de tarificaciones conjuntas son los primeros pasos para lograr un contexto de movilidad donde cada modo ocupe su lugar y los subsidios sean racionalmente distribuidos, siempre en beneficio de la sociedad y de todos los actores de la movilidad.



## **5. El papel del TAD en la mejora de la movilidad urbana**

En el contexto de calentamiento global, polución urbana, recursos limitados y crisis económica explicado y con problemáticas tales como la proliferación del uso del vehículo privado, la ineficiencia e imagen negativa del transporte público y las restricciones presupuestarias, la mejora de la movilidad urbana se presenta como un reto de gran complejidad. Así pues, ante el agotamiento de las ideas y soluciones clásicas viables económica y técnicamente al que hacen frente muchos ayuntamientos, puede afirmarse que la mejora de la movilidad no será posible sin un proyecto innovador, ilusionante y diferente a los servicios existentes, cuyas realidades socioeconómicas son una limitación.

Este proyecto apuesta por el Transporte a la Demanda (TAD) como solución aplicable en la mejora de la movilidad urbana con la convicción de que una implantación efectiva aporta importantes beneficios para la ciudadanía y lo convierte en un aliado capaz de complementar o sustituir al transporte público tradicional. En este apartado se presentan las claves de esta mejora aportada por el TAD, sus limitaciones y casos de aplicación posibles, así como indicaciones para su implantación.

### **5.1 Motivaciones para un TAD**

El proceso para seleccionar y apostar por el TAD como solución frente a otras alternativas ha estado directamente condicionado por la realidad de las ciudades y su movilidad:

- Las ciudades son aglomeraciones heterogéneas caracterizadas generalmente por su estructura irregular y la existencia de gradientes importantes de densidad de población y de demanda, así como de flujos dispersos poco concentrados.
- Todas estas características se acentúan para las ciudades de tamaño medio donde las necesidades son difícilmente cubiertas por las limitaciones presupuestarias.
- La mayoría de las soluciones clásicas de transporte apuestan por diseñar una oferta adaptada a una demanda determinada y a diferencia de las moviidades ligeras o el vehículo privado son incapaces de adaptarse fácilmente a las fluctuaciones.
- Esto da lugar a servicios ineficientes con alto coste operacional y demasiado rígidos para satisfacer demandas no uniformes aportando bajo nivel de servicio.

En esta realidad, el TAD se presenta como una solución flexible capaz de adaptarse en tiempo y espacio a las necesidades precisas de la demanda, limitando los costes operacionales y aumentando el nivel de servicio. Como se ha mencionado, su uso está más extendido en zonas

rurales y de baja densidad, pero son varias las motivaciones para su implantación en territorio urbano. Se describen a continuación las principales, fruto de la experiencia propia en el sector y convicciones, razón de ser de este proyecto:

- Muchos ayuntamientos ya disponen de servicios de TAD, aunque sin reservas automatizadas en tiempo real ni con optimización trayectos, lo que demuestra el interés y apuesta de las autoridades locales por este modo de transporte.
- Como se ha explicado, es un sistema de transporte innovador y dinámico con buenos resultados en sus implantaciones y apto para diferentes tipos de ciudades.
- En muchas ciudades, las líneas tradicionales ineficientes no son reemplazadas o suprimidas para asegurar una mínima cobertura del territorio, no existiendo generalmente una alternativa. El TAD facilita las reestructuraciones de la red fija, ayudando a corregir sus ineficiencias y garantizando la cobertura cuando esta no es económica o técnicamente factible. Reemplaza o complementa a las líneas fijas menos usadas, pudiendo absorber servicios completos como el bus nocturno.
- La diseminación y heterogeneidad del territorio dificultan su cobertura por las líneas tradicionales, dando lugar a zonas sin servicio. El TAD permite adaptar el área servida, la cantidad y tamaño de los vehículos a las necesidades espaciales.
- Análogamente, la demanda no es uniforme, ni espacial ni temporalmente (Ilustración 9). El aumento de los trayectos pendulares urbanos ha agravado estas diferencias. Esto dificulta la operación de las líneas fijas, siendo el TAD más apto por su flexibilidad y por poder garantizar más fácilmente frecuencias y fiabilidad.
- La estructura urbana condiciona el diseño de la red fija. La existencia de pocos ejes urbanos de gran capacidad dificulta la creación de servicios públicos eficaces fomentando duplicidades y solapamientos usando en muchos casos los únicos recorridos posibles. El TAD se adapta mejor a las características de cada zona.
- Tanto si hay problemas de tráfico como si no, la implantación del TAD permite mejorar la calidad de vida de los ciudadanos al reducirse las emisiones y el ruido por la reducción de la parte modal del vehículo privado. En efecto, es el único modo lo bastante flexible, confortable y disponible para poder competir con el vehículo privado, pues se adapta fácilmente a las nuevas necesidades urbanas.
- El TAD permite popularizar el uso transporte público más allá de la población cautiva (personas mayores, jóvenes o con movilidad reducida) de la que provienen la mayoría de



Ilustración 9: Anuncio del servicio de TAD nocturno de Padua, Italia (fuente: PadovaOggi)

los usuarios actuales en muchas ciudades. Un sistema de transporte público ha de ser interesante y útil para todos los ciudadanos. Igualmente, ante el envejecimiento de la población, permite implantar servicios de proximidad en los barrios más afectados o incluso servicios para personas con movilidad reducida.

- La apuesta por la movilidad ligera tiene sus limitaciones en términos de distancia y confort. El TAD completa la movilidad para los trayectos donde no llegan los demás modos. La apuesta por uno solo es una condena al estancamiento.
- Ante la ausencia de políticas que fomenten un cambio de mentalidad, el TAD permite implantar la cultura del transbordo, en muchos casos inexistente, gracias a la coordinación horaria con las líneas fijas. Ayuda a cambiar la opinión ciudadana y hacer avanzar la ciudad hacia una mejor y más libre planificación.
- El TAD y los avances tecnológicos están estrechamente ligados, permitiendo al ciudadano acceder a las informaciones del trayecto en tiempo real y avanzando hacia una movilidad urbana más eficaz y conectada.
- La integración tarifaria existente en muchas ciudades crea un contexto idóneo para la creación de nuevos modos como el TAD. La existencia de marcas unificadas o autoridades del transporte metropolitana ayudan en su integración.
- El transporte público de muchas ciudades europeas se vio afectado por la crisis y los recortes realizados en consecuencia. Esto obliga a las autoridades a encontrar nuevas fórmulas más baratas y eficientes para garantizar un servicio de calidad. El TAD es una de esas soluciones.
- Son soluciones relativamente baratas, incluso los TAD de altas prestaciones, si se comparan con otros servicios de transporte. Los ayuntamientos disponen de fondos suficientes para asumir este tipo de inversiones sin afectar al control de gasto y con beneficios cualitativamente mayores que los costes de implantación y evitan invertir grandes sumas en líneas de bus con muy baja utilización. Además, desde una perspectiva de servicio público, cuanto mayor sea el beneficio social por euro invertido mejor aprovechados pueden considerarse esos recursos.
- Se trata de un proyecto innovador que ayudaría a popularizar el transporte público, cuya mala imagen no puede en muchos casos repararse sin proyectos ambiciosos.

## **5.2 Mejoras en la movilidad urbana**

Todos los motivos para su uso en las ciudades son también las claves de la mejora en la movilidad urbana que conlleva su implantación y cuyos beneficios se describen ahora.

Como se ha visto, la implantación del TAD libera a las líneas fijas de algunas de sus obligaciones, como la cobertura de zonas de baja demanda o la localización de los extremos de línea en zonas periféricas mal servidas. Estos diseños forzados son propios de un servicio público con aspiraciones de universalidad y, sin embargo, las bajas frecuencias, impuntualidad y, en definitiva, bajo nivel de servicio, que conllevan, los convierten en servicios usados prácticamente en exclusividad por la población cautiva. El resto se ve pues obligada a utilizar el vehículo privado con todas sus externalidades. Con todo ello, puede observarse una cierta interconexión entre los diferentes actores de la movilidad urbana. Una modificación en uno de los eslabones de esta suerte de ciclo de la movilidad implica variaciones en los demás, por lo que bien gestionados, e hipotéticamente, una pequeña mejora en un aspecto de la movilidad urbana implicaría grandes beneficios para los usuarios.

Así pues, la implantación del TAD tendrá evidentes beneficios directos, pero también indirectos, participando en la mejora del conjunto de la movilidad urbana. Estos beneficios, si bien variados y difícilmente cuantificables, pueden resumirse como sigue:

- Mejora de la cobertura del territorio ampliándose a zonas mal o nada servidas.
- Ampliación y flexibilización de horarios adaptándolos a las necesidades reales.
- Aumento de las frecuencias del sistema por la reestructuración de las líneas fijas.
- Reducción de los tiempos de acceso por implantar servicios de proximidad.
- Mejora del tráfico rodado al aumentar la competencia con el vehículo privado.
- Reducción de los niveles de contaminación y ruido por la reducción del tráfico.
- Maximización de servicio ofrecido por euro invertido al aumentar la eficiencia.
- Simplificación operacional por la introducción efectiva de nuevas tecnologías.
- Cambio de tendencias por la mejora de la experiencia de uso de los servicios.

En definitiva, más TAD son menos líneas fijas, más cobertura espacial y temporal, más frecuencias de toda la red, menos tiempos de parada, más velocidad comercial, más transbordos y más eficiencia, menos costes operacionales y más nivel de servicio.

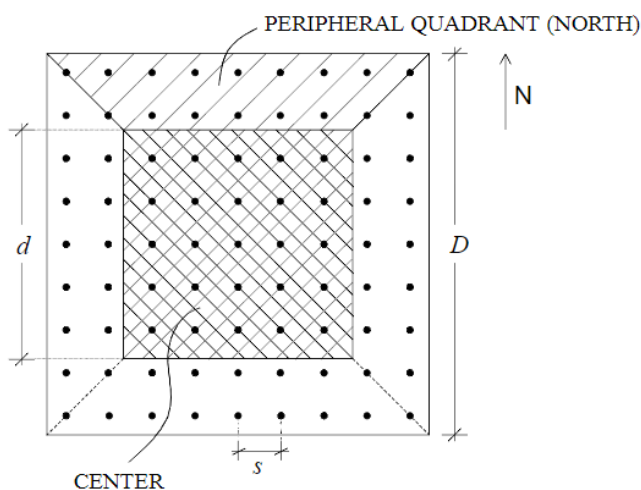
### **5.3 Implantación efectiva**

Presentadas las razones y motivaciones que han llevado a escoger el TAD como solución para la mejora de la movilidad urbana y resumidos los beneficios de esta elección, procedemos a describir brevemente como debe realizarse su implantación. El TAD, como cualquier otra solución de movilidad, exige de una planificación previa adecuada que, mediante una implantación efectiva, de lugar a un servicio funcional y eficiente. Un TAD mal implantado no

solo no será beneficioso para la movilidad y los ciudadanos, sino que puede suponer costes operacionales excesivos e injustificados.

Antes de comenzar el diseño, debe realizarse un análisis detallado de las características de la movilidad urbana actual y del nivel de servicio ofrecido por el transporte público. Para ello, tras estudiarse las características básicas de la ciudad, como la demográfica o el empleo, y analizar la estructura del entramado urbano, deben localizarse los polos principales de atracción de demanda y, si se dispone de datos suficientes, modelizarla. A continuación, se realiza un análisis detallado tanto de la red actual de líneas fijas como de los demás actores de la movilidad existentes.

Completado el análisis global de la ciudad y tras identificar las problemáticas principales puede diseñarse el TAD. El objetivo será, conocidas las debilidades de la movilidad urbana, buscar una mejora global mediante una solución adaptada y diseñada a medida basada en el TAD. Sin embargo, este no será válido para cualquier zona ni con las mismas características. Por ejemplo, el centro del núcleo urbano, más uniforme y denso, estará generalmente bien servido por las líneas fijas y la marcha pie. Así pues, tomando como referencia los estudios realizados por autores como Carlos Daganzo (2010) en *Structure of competitive transit networks* [2], base del diseño de la nueva red ortogonal de Barcelona, se identifica una zona central cuyas necesidades y soluciones aplicables difieren de las de la zona exterior o periférica y que a priori no será apta para el TAD,



dando lugar a un sistema híbrido de transporte. En su lugar se planteará una solución basada en la reestructuración de las líneas fijas, quedando la implantación del TAD, estructurada en distintas modalidades y configuraciones combinadas, limitada a las zonas periféricas para reemplazar o completar a las líneas fijas cuando sea necesario.

Ilustración 10: División de la ciudad (fuente: [2])

Un estudio de optimización e implantación completa del TAD será realizado para la ciudad de Castellón de la Plana, capital de la provincia de Castellón.

## 5.4 Casos de uso y limitaciones

Se concluye que el uso del TAD en la mejora de la movilidad presenta beneficios evidentes, aunque difícilmente cuantificables, pero también tiene sus limitaciones. Conocer bien el territorio y en qué casos concretos puede aplicarse será clave para su éxito, todo ello basado en las aplicaciones generales presentadas en el apartado anterior.

Numerosos y variados, se presentan algunos ejemplos de posibles casos de aplicación:

- Zonas periféricas, como barriadas poco densas, zonas separadas de la ciudad o grandes superficies comerciales, que necesiten de un servicio complementario.
- El servicio nocturno, en el que podría incluirse el conjunto del área urbana y que en muchas ciudades es ineficiente o totalmente inexistente.
- Acceso a servicios básicos, como hospitales o universidades, que estén mal cubiertos en los momentos de baja demanda o días no laborables.

Por otra parte, se debe descartar el uso de TAD cuando el flujo de demanda sea lo suficientemente denso y uniforme para justificarse el uso del transporte de masas.

## 5.5 Otras soluciones

En la mejora de la movilidad urbana podría haberse apostado por soluciones alternativas o complementarias al TAD que fueron descartas por varios motivos. Por no ser el tema central de este proyecto serán se citarán únicamente algunos ejemplos sin desarrollos:

- Red ortogonal: ideada por Daganzo (2010) [2] e implantada en Barcelona, su aplicación es más efectiva en ciudades con ejes bien definidos y con una cultura para realizar múltiples transbordos en cada trayecto, dos principios básicos de esta estructura.
- Coches, motos, patinetes o bicicletas en libre servicio: su papel en la mejorar de la movilidad no está confirmado y su implantación implica un uso abusivo del espacio público, externalidades para los peatones y problemas de seguridad vial.
- Vehículos de Turismo con Conductor (VTC): en concurrencia directa con el sector del taxi, no mejoran la movilidad sin la creación de trayectos compartidos, y en tal caso, un servicio de TAD público es suficiente para alcanzar tal objetivo.

## **6. Modelos para la implantación**

Explicadas las características principales del Transporte a la Demanda, sus diferentes tipologías y aplicaciones y su relación con el transporte colectivo tradicional, procedemos a presentar los modelos que serán utilizados en su aplicación para la mejora de la movilidad urbana. Remarca que este apartado no pretende ser una compilación bibliográfica de todos los modelos existentes sino una presentación más o menos detallada de los modelos que serán utilizados a lo largo del proyecto.

Se presentarán en primer lugar brevemente los modelos de demanda, a continuación, los modelos de operación del Transporte a la Demanda utilizados y para finalizar el modelo de aplicación a casos reales desarrollado y que será la base del proyecto de Castellón.

### **6.1 Modelización de la demanda de transporte**

La modelización de la demanda es una etapa previa indispensable para todo modelo que utilice datos precisos de demanda para obtener resultados concluyentes. Todo estudio de movilidad que busque el diseño exacto de una oferta en función de una demanda determinada, teniendo más peso que otras variables, exige la utilización de uno de los modelos de demanda existentes.

Siendo modelos complejos con un consumo de recursos importante y no existiendo datos de partida recientes ni completos para permitan realizar una modelización fiable, se ha concluido que los resultados que pudieren obtenerse serían menos precisos que las estimaciones de demanda basadas en las propias características del territorio. Por otro lado, el modelo que se aplicará necesita únicamente una demanda espacial uniforme, siendo esta una variable clave, pero teniendo tanto peso en el modelo como las que caracterizan el territorio o los parámetros de diseño del servicio. Por todo esto, en el caso concreto de este proyecto, se ha descartado realizar una modelización la demanda.

De cualquier modo, y para futuros casos o evoluciones, se explica a continuación un modelo de demanda cuya aplicación ayudaría a determinar la demanda espacial uniforme del modelo de Transporte a la Demanda, siendo una forma fiable de obtener este valor siempre y cuando se disponga de datos suficientes y el contexto del proyecto lo justifique.

El *Modelo de 4 etapas*, (McNally, 2008)

[11] el más conocido para la modelización de la demanda, permite determinar la demanda atemporal exacta que deberá satisfacer la oferta de un determinado servicio de movilidad. Como su nombre indica, son cuatro las etapas (Ilustración 11) que deben realizarse para la obtención de la demanda.

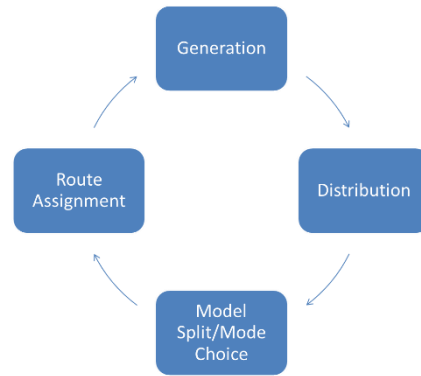


Ilustración 11: Etapas del modelo (fuente: Wikipedia)

- *Etapa 1: Generación de viajes.* El territorio es fragmentado en diferentes zonas cuyo tamaño depende de la escala a la que se esté aplicando el modelo. Partiendo de un análisis detallado de las características de cada una de esas zonas (población, habitabilidad, empleo, servicios, transportes existentes...), se determina el número de pasajeros que salen y entran a las zonas en un periodo de tiempo determinado.
- *Etapa 2: Distribución de viajes.* La siguiente etapa consiste en determinar, para cada una de las zonas, cual es el destino de los pasajeros que salen y cual el origen de lo que entran. Partiendo de encuestas de preferencias reveladas o de estudios de movilidad previos se determina toda la matriz de orígenes-destinos que una vez agregada revela todos los flujos del territorio.
- *Etapa 3: Selección modal.* Conocidos los flujos se debe determinar cuál es el reparto modal o el modo de transporte utilizado por cada pasajero para realizar su trayecto. Una vez más se debe recurrir a encuestas o estudios de movilidad para determinar cuál es la elección hecha por cada pasajero. Para cada flujo O-D se obtiene el reparto en porcentajes.
- *Etapa 4: Selección de ruta.* Se afecta cada porcentaje de cada flujo a la red existente (de carreteras, de metro, de bus...). Esto permite conocer con exactitud la congestión del sistema de transporte y donde deben centrarse las primeras actuaciones.

Para un proyecto de aplicación como el nuestro, el modelo de 4 etapas permitiría obtener la parte modal actual del transporte público colectivo. Para poder determinar qué porcentaje de esa parte utilizaría el nuevo servicio de transporte a la demanda y si habría una demanda inducida, bien proveniente del transporte por carretera o inexistente con el anterior sistema, sería necesario analizar cada caso como único y la realización de encuestas de preferencias declaradas.



## 6.2 Modelos de optimización de diseños flexibles

Como se ha visto anteriormente existen tantas tipologías diferentes de Transporte a al Demanda como posibles combinaciones de niveles de restricciones espaciales y temporales puedan hacerse. Así mismo, tal y como se ha mencionado, no todos los modelos son aptos para todos los territorios ni pueden aplicarse de la misma manera. Entre los modelos para la concepción de servicios de transporte flexible pueden distinguirse, entre otros, los basados en la asignación y cálculo de rutas a partir de una demanda precisa, y los basados en la minimización del coste total del servicio mediante la correcta combinación de variables en función de las características del territorio.

Siendo el sujeto central de este proyecto la implantación de los modelos de TAD en la mejora de la movilidad urbana, y no los propios modelos de asignación ni de minimización, se ha decidido no desarrollar nuevos modelos y aprovechar el excelente trabajo desarrollado por otros autores. Los esfuerzos serán pues dedicados a las etapas posteriores de implantación efectiva basadas en el estrecho vínculo entre estos modelos y las particularidades del territorio y las múltiples posibilidades que ofrece el TAD.

Se presentan a continuación los 3 modelos de optimización que serán utilizados para la implantación. Han sido desarrollados por Miquel Estrada et al (2019) y se describen en detalle en su artículo *Operational cost and user performance análisis of on-demand bus and taxi systems* [8]. Las formulaciones y razonamientos aquí presentados serán íntegramente utilizados por el modelo de implantación que, a partir de la comparación de los resultados de estos tres modelos para cada territorio, diseñara la oferta global de TAD que mejor se adapta a las características de la ciudad y ayuda a mejorar su movilidad.

Los tres modelos o modalidades de transporte flexible son:

- a) *Líneas de bus con recorrido fijo i paradas flexibles*: Es el modelo menos flexible, basado en una línea tradicional que sigue un itinerario fijo, pero donde solo se realizan las paradas si han sido seleccionadas por algún usuario. Se adapta el número de paradas a la demanda. (Ilustración 12)

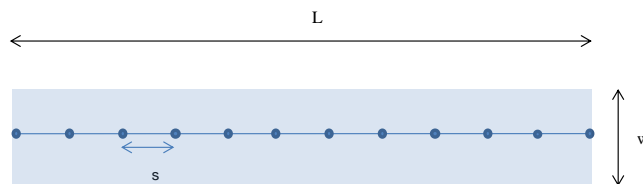


Ilustración 12: Modalidad A (fuente: [8])

- b) *Línea de bus semiflexible*: Es el modelo intermedio y se basa en un corredor donde el bus puede desviarse lateralmente si los usuarios lo solicitan, pero avanzar únicamente hacia el final de la directriz del corredor. Es en realidad una línea fija que se desvía si la demanda lo requiere. (Ilustración 13)

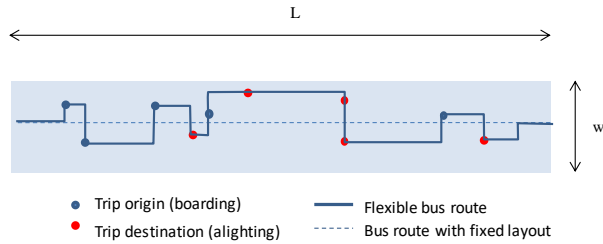


Ilustración 13: Modalidad B (fuente: [8])

- c) *TAD en modo freeride o taxi*: No existe ninguna limitación espacial más allá de los límites de la región servida. Los vehículos pueden desplazarse entre cualquier origen y destino en lo que se asemeja a un servicio de taxi, pero siempre con trayectos compartidos (Uber Pool). Es el más flexible de los tres modelos. (Ilustración 14)

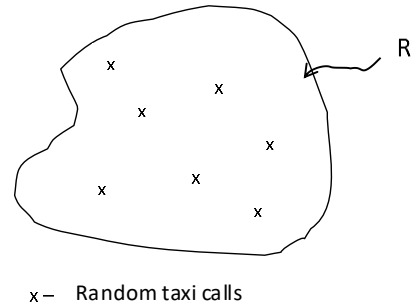
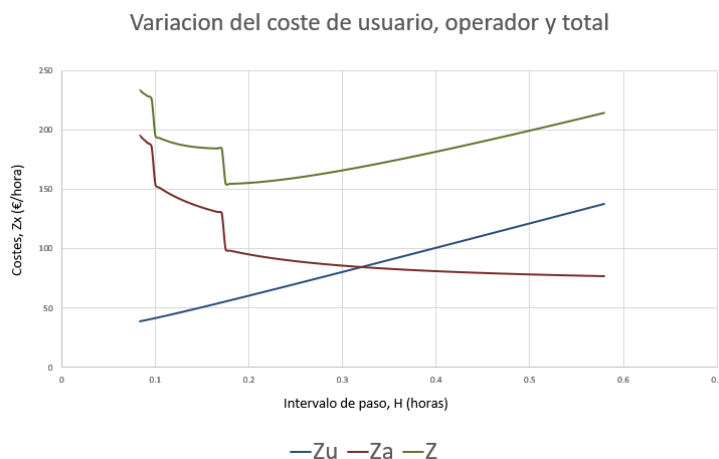


Ilustración 14: Modalidad C (fuente: [8])

Como mencionado, estos tres modelos se basan en la minimización del coste total. Cada servicio “debe analizarse desde la perspectiva del usuario, del operador i del coste total del sistema” (Estrada et al, 2019) [8], por lo que el total a minimizar será el resultado de la suma de estos.

$$Z = Z_A + Z_U \quad (1)$$

Los costes operacionales son los costes derivados directamente de la provisión y operación del servicio y son asumidos por la administración. Los costes del usuario son el coste generalizado del viaje, “una medida de cuantificación de los costes sufridos por un individuo al utilizar un modo de transporte particular para realizar un viaje” [8] que permite además valorar el nivel de aceptación de un servicio entre los usuarios. Estos dos costes son inversamente proporcionales entre ellos, siendo el coste operacional mayor y el coste para usuario menor cuanto mayor es el nivel de servicio ofrecido, como se muestra en la Ilustración 15. Por ello, los modelos de optimización deben encontrar el equilibrio entre un tiempo puerta a puerta aceptable y unos costes de operación asumibles (Estrada et al, 2011) [7]. Esto hace de la minimización del coste total del sistema el objetivo central del diseño óptimo de un servicio de Transporte a la Demanda.



*Ilustración 15: Variación de los costes (fuente: [8], elaboración propia)*

Los costes operacionales se dividen en fijos, o temporales, i variables, o por distancia. Los primeros dependen del número de vehículos i no varían con la distancia total

que estos recorren. Incluyen los sueldos de los conductores, el coste amortizado de los vehículos, los impuestos y los seguros, entre otros. Los segundos, como su nombre indica, son directamente proporcionales a la distancia recorrida por los vehículos. Incluyen el combustible u otras formas de propulsión del vehículo, el mantenimiento, los gastos de aparcamiento o circulación, si existen, entre otros.

A efectos prácticos, “estos costes se traducirán en un coste unitario por kilómetro ( $c_d$ ) y por hora ( $c_t$ )” [8] que será diferente para cada una de las modalidades de TAD. El coste operacional total del sistema en 1 h de servicio se calculará multiplicando estos dos costes unitarios por la distancia total recorrida por todos los vehículos en 1h (Q) y cantidad total de vehículos utilizados en esa misma hora (M), respectivamente, y haciendo la posterior adición:

$$Z_A = c_d Q + c_t M \quad (2)$$

Los costes para el usuario se dividen entre el coste directo del viaje ( $C_\epsilon$ , precio de la tarifa que se está pagando para realizar el trayecto), y el coste del tiempo dedicado a la realización del viaje. El primero se obtiene directamente de la tarificación impuesta por la administración para cubrir una parte de los costes de operación. El segundo se basa en el producto entre el tiempo total invertido por un usuario para realizar el viaje (T), desde su punto de origen a su punto de destino (acceso a la parada inicial, tiempo de espera, tiempo en el vehículo, transferencias y llegada desde la parada final al punto de destino) y el coste unitario de ese tiempo ( $\beta_T$  (€/ pax-h)). Este último, conocido como valor del tiempo, depende de la percepción que cada usuario tiene de su tiempo, se calcula “en función de las características socioeconómicas y de demanda del sistema” [8], varía para cada uno de los tipos de tiempo que componen el tiempo total, puede variar según cual sea la hora de estudio y el día de la semana. Por ejemplo, un servicio de alta calidad y confort o que permite aprovechar el tiempo para realizar otras actividades tendrá un coste menor del tiempo. Por todo ello, Estrada et al (2019) [8] propone utilizar un valor medio aproximado para toda la población siendo el parámetro más difícil de cuantificar de todo el modelo.

El coste para todos los usuarios en 1 h de servicio se calculará sumando el coste del billete de transporte y el coste del tiempo total, calculado multiplicando la suma del tiempo de acceso (A), de espera (W) y en el vehículo (IVTT), el valor de este tiempo, la demanda espacial en 1h ( $\lambda_D$ ) y el tamaño del territorio estudiado (R):

$$Z_U = C_\epsilon + (A + W + IVTT)\beta_T \lambda_D R \quad (3)$$

Cada uno de los tres modelos, por las características propias del servicio y las del área servida, calcula de manera diferente las 5 variables principales de la ecuación del coste total (Q, M, A, W, IVTT). Partiendo de los mismos parámetros y para un mismo territorio, cada modelo ofrecerá resultados diferentes, lo que permite, tras una comparación, seleccionar el modelo óptimo y planificar el futuro servicio de TAD.

En la Tabla 1 se resumen las formulaciones utilizadas en cada modelo. Su desarrollo metodológico es detallado por el profesor Miquel Estrada et al (2019) en *Operational cost and user performance análisis of on-demand bus and taxi systems* [8].

Distancia recorrida en 1h (Q)	Modalidad A	$Q = \frac{2L}{H}$	(4)
	Modalidad B	$Q = \frac{1}{H} \left( 2L + \frac{2\lambda_d \cdot L \cdot H \cdot w^2}{3} + L \sum_{i=2}^{\infty} (i-1)P\{i\} \right)$	(5)
	Modalidad C	$Q = \lambda R(l + vT_0)$	(6)
Flota necesaria (M)	Modalidad A	$M = \frac{Q}{v_c} = Q \left( \frac{1}{v} + \frac{S_e v}{L a} + \frac{1 \lambda_d \cdot R \cdot H}{L 2} \tau' \right)$	(7)
	Modalidad B	$M = \frac{Q}{v_c} = \left( \frac{Q}{v} + \frac{2\lambda_d \cdot R \cdot v}{1 a} + \frac{\lambda_d \cdot R \cdot \tau'}{1} \right)$	(8)
	Modalidad C	$M = \frac{R}{(2vT_0)^2} + \lambda R \left( T_0 + \frac{l}{v} \right)$	(9)
Tiempo de acceso (A)	Modalidad A	$A = \frac{2E(d)}{v_w} = \frac{s + w}{2v_w}$	(10)
	Modalidad B	$A = 0$	(11)
	Modalidad C	$A = 0$	(12)
Tiempo de espera (W)	Modalidad A	$W = \frac{1}{2} \left( \bar{H} + \frac{s_H^2}{\bar{H}} \right)$	(13)
	Modalidad B	$W = \frac{1}{2} \left( \bar{H} + \frac{s_H^2}{\bar{H}} \right)$	(14)
	Modalidad C	$W = T_0$	(15)
Tiempo de trayecto (IVTT)	Modalidad A	$IVTT = \frac{l}{v} + \frac{l}{L} S_e \frac{v}{a} + \frac{l \lambda_d \cdot R \cdot H}{L 2} \tau'$	(16)
	Modalidad B	$IVTT = \frac{l}{2L} \left( \frac{QH}{v} + \frac{2\lambda_d \cdot R \cdot H v}{1 a} + \frac{\lambda_d \cdot R \cdot H \tau'}{1} \right)$	(17)
	Modalidad C	$IVTT = E \left( \frac{l}{v} \right) = \frac{2R^{1/2}}{3v}$	(18)

Tabla 1: Variables INPUT del modelo de optimización (fuente: [8], elaboración propia)

Finalmente, se procede a la optimización del coste total anteriormente definido. El objetivo es “identificar las características del servicio de TAD que minimizan el coste total del sistema” [7] [8] para después determinar cuál es la modalidad que mejor se adapta a un territorio. Esta optimización puede formularse de la siguiente forma:

$$\begin{aligned} \min_{s,H,T_0} \{ Z = c_d Q + c_t M + \lambda_d R \beta_t (A + W + IVTT) \} \\ \text{s. t.} \\ H \geq 0, s \geq 0, T_0 \geq 0 \\ 0 < C \end{aligned} \quad (19)$$

En la modalidad A existen dos variables de decisión, la separación entre paradas (s) e intervalo de paso (H). En el caso de la modalidad B la variable de decisión es el intervalo de paso (H) y en la C el tiempo de espera del usuario (T0). La minimización en B y C es sencilla pues “la función objetivo es convexa, presenta un mínimo” (Estrada et al, 2019) [8] y existe “la posibilidad de definir la función objetivo de forma analítica en función de una variable de decisión” [8]. Basta derivar la expresión del coste en función de esa variable e igualar a cero para obtener los valores óptimos. En la modalidad A, al haber dos variables de decisión “la expresión del valor óptimo de una variable depende de la otra” [8]. El modelo debe distinguir si, por la demanda existente, el número de paradas que el vehículo realizará (Se) será menor al de paradas totales, dependiendo en este caso del intervalo de paso, o si será mayor, parando el vehículo en todas y cada una de las paradas. Esto dificulta de cierto modo el proceso de minimización. Análogamente, los límites de la optimización quedan definidos por la capacidad de los vehículos y que todas las variables tomen valores positivos.

Mas detalles sobre el desarrollo del modelo analítico de minimización pueden encontrar en el artículo de Miquel Estrada et al (2019) [8]. El modelo desarrollado por el profesor Estrada permite igualmente obtener los valores finales si el operador define los valores de las variables de decisión, lo que transforma el problema de optimización, así como calcular el factor de cobertura y las subvenciones necesarias que debe asumir la administración.

Los resultados obtenidos con este modelo y método serán utilizados por el modelo de implantación desarrollado.

## 6.3 Modelo de implantación de sistemas de TAD

### 6.3.1 Descripción y fundamentos

El modelo anteriormente presentado permite minimizar los costes totales de un sistema de TAD en cada una de sus modalidades para una zona determinada. No todas las modalidades son aptas para todas las zonas de una ciudad ni ofrecen el mismo nivel de optimización. Por ejemplo, una modalidad más o menos flexible puede estar más o menos adaptada a un tipo de zona, puede hallarse una zona donde el TAD no tenga razón de ser, o como a priori un servicio más flexible implicará será más costoso, se necesitará una demanda determinada para justificar la inversión. Para realizar una planificación efectiva de Transporte a la Demanda debe implantarse, en cada una de las zonas potenciales identificadas en una ciudad, la modalidad que permita maximizar el nivel de servicio minimizando los costes de explotación, relativamente a las otras modalidades.

Para ello se ha desarrollado un modelo de implantación que será posteriormente validado con el caso aplicado a Castellón. Partiendo de los dos enfoques del modelo de optimización (Enfoque A, hallar las variables de decisión que minimizan el coste total del sistema y determinar la oferta; Enfoque B, definir directamente también las variables de decisión y determinar el servicio), el modelo de implantación permite comparar varias configuraciones de TAD basadas en la división de zonas realizada para la ciudad:

1. *Configuración I*: Las zonas potenciales identificadas para la implantación del TAD, tras su modelización, son directamente utilizadas como servicios TAD. Esto lleva a tener numerosas zonas independientes con vehículos y recursos dedicados.
2. *Configuraciones N*: Las zonas identificadas son sometidas a un proceso previo de consolidación y extensión con el objetivo de reducir el número total. Para ello se fusionan varias zonas en un único servicio, extendiéndose el área total al incluir las zonas urbanas comprendidas entre ellas. En esta configuración el número inferior de zonas de mayor tamaño permite recursos compartidos. Según como se diseñen las zonas se obtienen diferentes configuraciones, incluyendo cada servicio TAD al menos una zona potencial pero no exclusivamente.

Se habría podido definir las configuraciones a partir de la densidad de nodos, pero los modelos utilizados no lo permiten. Basado en estos dos enfoques y en las configuraciones, el modelo define las pautas a seguir, las variables a considerar y criterios de selección para realizar una implantación efectiva de Transporte a la Demanda en una ciudad concreta.

El diseño de las configuraciones debe precederse por la modelización de las zonas. En efecto las zonas identificadas están basadas en la estructura urbana real de la ciudad y en muchos casos no pueden ser utilizadas directamente por el modelo. En la definición de los parámetros característicos de cada una de ellas se utilizará pues una zona modelizada, es decir, un modelo teórico de la zona con características homogeneizadas y representativas que sea lo más acurado posible a la realidad representada. Esta etapa de simplificación es común a prácticamente todos los modelos siendo un límite importante.

Igualmente, el modelo parte de las hipótesis que cada zona potencial de la configuración es independiente de las demás y que la elección de una modalidad u otra en base al modelo de optimización no tiene implicación alguna para las demás zonas. Esto será otro límite evidente del proyecto, pero también una ventaja, dando lugar a un modelo simplificado de implantación que podrá ser utilizado fácilmente para casos prácticos y que reforzará otros aspectos del proceso de implantación no siempre bien atendidos. Hecha la asignación por zona se procederá a obtener los valores globales para la ciudad. En definitiva, permite ver que estructura combinada de TAD se adapta mejor a las características de la ciudad basándose en los parámetros de servicio deseados.

### 6.3.2 Variables

Como se ha mencionado anteriormente, el modelo de implantación concebido utilizará los modelos de optimizaciones desarrollados por el profesor Estrada [8]. Las variables de entrada del modelo de implantación lo serán a través del de optimización pues las variables de salida de este modelo serán directamente explotadas por el de implantación.

Estas variables, a definir previamente, y que caracterizarán cada una de las zonas son (Tabla 2):

Descripción de los INPUTS	Variables (Unidades)
Distancia media de trayecto	$l$ (km)
Longitud de la zona	$L$ (km)
Ancho de la zona	$W$ (km)
Densidad de demanda	$\lambda_d$ (pax/km <sup>2</sup> -h)
Capacidad de los vehículos	$C$ (pax)
Velocidad de cruce	$v$ (km/h)
Aceleración	$a$ (m/s <sup>2</sup> )
Tiempo de subida y bajada por pasajero	$\tau'$ (s/pax)
Velocidad a pie	$v_w$ (km/h)
Varianza del intervalo	$s^2H$ (h <sup>2</sup> )
Coste unitario por km (coste variable en A y B)	$cd$ (€/veh-km)
Coste unitario por hora (coste fijo en A y B)	$ct$ (€/veh-h)
Tarifa (modalidad A y B)	$\theta$ (€/trayecto)

Valor del tiempo	$\beta t$ (€/pax-h)
Penalización equivalente por transbordo	P (km)
Peso percibido del tiempo de acceso	wA (-)
Peso percibido del tiempo de espera	wW (-)
Peso percibido del tiempo de trayecto	wT (-)
Peso percibido del tiempo de transbordo	wt (-)
Intervalo mínimo	Hm (min)
Separación media entre calles	$\Delta s$ (km)
Tarifa unitaria por km (modalidad C)	$\theta_{km}$ (€/veh-km)
Bajada de bandera (modalidad C)	$\Phi$ (€/trip)
Coste unitario por km (coste variable en C)	cd (€/veh-km)
Coste unitario por hora (coste fijo en C)	ct (€/veh-h)
Tiempo de pago en el vehículo (en C)	t $\theta$ (seg/trayecto)
Tiempo de asignación de trayectos (en C)	ta (seg/trayecto)

Tabla 2: Variables INPUT del modelo de optimización (fuente: [8], elaboración propia)

Por otra parte, en la selección de la modalidad óptima para cada zona puede darse que ninguna sea lo suficientemente buena y que se descarte la implantación. Para ello habrá que definir la región factible indicando los valores mínimos y máximos aceptables de algunas de las variables, o si existe una línea fija que está siendo substituida por un TAD, utilizar sus datos reales de operación como límites de validez. Ejemplos de variables que pueden utilizarse (Tabla 3):

Descripción de los OUTPUTS	Variables (Unidades)
Intervalo de paso	H (horas)
Tiempo de espera	To (horas)
Coste total del sistema	Z (€/hora)
Coste unitario por trayecto	za (€/pax)
Distancia total recorrida en 1 hora	Q (veh-km)
Flota necesaria	M (veh-h)
Velocidad comercial	vc (km/h)
Tiempo puerta-a-puerta	T (h)

Tabla 3: Variables OUTPUT para definir la región factible (fuente: [8], elaboración propia)

Finalmente, se realizarán pruebas de sensibilidad para determinar la solidez de la elección hecha y evaluar cómo le afectaría una evolución. Para ello, se deberán definir previamente las características de las evoluciones que se quieren realizar, a que variables afecta y como. Existen múltiples evoluciones posibles, algunos ejemplos son:

- Evolución de la densidad de demanda por los cambios demográficos y urbanos
- Evolución del tipo de vehículos utilizado (turismos, comerciales, microbús, bus)
- Evolución de la velocidad de cruce por medidas complementarias como la preferencia semafórica o la creación de vías reservadas.



- Evolución de las características socioeconómicas de los usuarios (edad media, distribución de edades, valor del tiempo, renta media, nivel de movilidad...)
- Evolución tarifaria progresiva entre un servicio privado y público.
- Evoluciones tecnológicas del pago, gestión de reservas, seguimiento...

### 6.3.3 Etapas de aplicación

Como mencionado, se distingue entre el enfoque A y B (optimizar el coste total o aplicar valores de tiempo de espera o intervalos realistas para el operador), que siguen los mismos pasos, pero utilizan procedimientos diferentes, y entre las diferentes configuraciones, según el grado de consolidación de zonas. Cada enfoque puede aplicarse diferente, siendo el modelo el encargo de gestionarlo. Se definen a continuación los pasos a seguir para la aplicación del modelo de implantación, para los dos enfoques y configuraciones:

1. Se analizan las características de la ciudad y se realiza un inventario de las zonas que potencialmente podrían necesitar un servicio de TAD. Este proceso puede implicar una reestructuración previa de la red de transporte público existente.
2. Se decide que enfoque se quiere dar a la implantación (A o B). Pueden realizarse con los dos enfoques, basta con repetir todos los pasos 3 a 8 para cada uno.
3. Se proponen y construyen un mínimo de 2 configuraciones que estructuren estas zonas. En primer lugar, deben crearse modelos teóricos representativos de cada una de las zonas. A continuación, en la 1, los modelos de las zonas potenciales son utilizados directamente como servicios TAD. Para las demás se aplican diferentes métodos de consolidación y extensión de las zonas reduciendo el número e incluyendo en cada servicio una o más zonas y otros territorios cercanos. La implantación debe realizarse con todas para la comparación posterior. Se empieza por una configuración, se repetirán los pasos 4 a 7 con las otras.
4. En cada zona de cada configuración, se define un valor inicial para cada variable del modelo. La mayoría son comunes a toda la ciudad y no dependen de la zona. Esta definición de variables, que debe basarse en la medida de lo posible en el análisis realizado, puede terminar siendo subjetiva si no se dispone de valores.
5. Para cada una de las zonas de cada configuración, y de forma independiente, se aplica el modelo de optimización de Estrada et al (2018) [8]. Este tomará los valores iniciales de las variables de la zona aplicando los tres modelos de TAD.
6. Para cada zona, se ha obtenido el diseño óptimo para cada una de las 3 modalidades. Se procede a continuación a determinar si la zona es apta para el TAD y a la elección de la mejor modalidad. En primer lugar, usando como criterio los valores mínimos y máximos

de los resultados definidos previamente, se excluyen de la implantación las zonas que no sean aptas para el TAD. Para las demás, se elige la modalidad y diseño que permiten un menor coste total.

7. Cada zona tiene ahora una modalidad de TAD asignado lo que implica tener igualmente unos resultados operacionales completos con un valor definitivo para cada variable. Este proceso ha sido realizado para cada configuración.
8. Se procede ahora a obtener los resultados globales de cada una de las configuraciones planteadas para toda la ciudad. Para ello, se hace la suma de los resultados de todos los modelos elegidos para todas las zonas de la ciudad.
9. Se comparan los resultados globales de las diferentes configuraciones (de todos los enfoques) y se procede a la elección de la implantación óptima para la ciudad. Este paso se desarrolla más en detalle en el siguiente punto del proyecto.
10. Con el objetivo de validar la configuración escogida, determinar su robustez y evaluar su respuesta a futuras evoluciones del territorio, que podrían incluso volverla obsoleta, se plantean pruebas de sensibilidad. Para ello, se han definido previamente las evoluciones de los valores iniciales de las variables del modelo que se desean probar. Cada prueba de sensibilidad o evolución será independiente de las demás a no ser que se plantee una evolución combinada.
11. Se realizan las pruebas de sensibilidad. Para cada valor de la evolución, se volverá a realizar la asignación de modalidad de TAD por zona y a obtener los resultados globales de cada configuración. Para ello, se hace variar, para cada una de las zonas, únicamente el parámetro en cuestión, manteniendo los valores iniciales el resto de las variables. La modalidad asignada es la que aporte el menor coste total.
12. Para cada una de las evoluciones o pruebas de sensibilidad obtengo la variación del coste total de las diferentes configuraciones urbanas con la variable en cuestión. Una representación gráfica se observará claramente esta relación.
13. Finalmente, podrán analizarse las evoluciones y determinar en qué intervalos de valores de la variable es mejor cada una de las configuraciones.

#### *6.3.4 Resultados y elección*

Como indicado, las mismas etapas 4 a 7 se repetirán para cada una de las configuraciones, pudiendo realizarse tantas como fragmentaciones posibles de la ciudad existan. Repitiendo todos los pasos para el enfoque B, se obtienen  $2 \cdot N$  modelos de implantación como el descrito en el apartado anterior, siendo N el número de configuraciones.

El enfoque B queda justificado si los valores obtenidos como óptimos en el modelo A básico no son realizables desde un punto de vista operacional i económico (cantidades excesiva de vehicules, tiempo de espera, intervalos, costes operacionales, el operador no dispone de los recursos necesarios...). En tal caso, el modelo de implantación pasa de buscar la configuración optima absoluta a buscar la mejor de las configuraciones posibles dadas las limitaciones o preferencias del operador o la administración. En este caso, las evoluciones pueden hacerse también adaptadas a esas limitaciones o preferencias.

En la etapa previa a la realización de las evoluciones, se procede a la comparación de los resultados globales a escala urbana obtenidos para cada una de las configuraciones. Esta comparación puede realizarse distinguiendo las configuraciones de un enfoque a otro o realizando una única para todos los enfoques. Los resultados globales a comparar son:

Descripción de los OUTPUTS	Variables (Unidades)
Paradas realizadas por sentido (m. A y B)	Se (paradas)
Trayectos por vehículo (modalidad C)	(trayectos/veh-h)
Distancia entre paradas (modalidad A)	s (km)
Sumatorio (modalidad B)	(-)
Ingresos por hora (modalidad C)	I (€/h)
Intervalo de paso (modalidades A y B)	H (horas)
Tiempo de espera (modalidad C)	To (horas)
Coste total del sistema	Z (€/hora)
Coste de los usuarios	Zu (€/h)
Coste del operador	Za (€/h)
Coste unitario por trayecto	za (€/pax)
Distancia total recorrida en 1 hora	Q (veh-km)
Flota necesaria	M (veh-h)
Velocidad comercial (modalidades A y B)	vc (km/h)
Tiempo de acceso estimado	A (h)
Tiempo de espera estimado	W (h)
Tiempo de trayecto estimado	IVTT (h)
Tiempo puerta-a-puerta	T (h)
Ocupación media de los vehículos (m. A y B)	O (pax)
Factor de cobertura	Fc (-)

*Tabla 4: Resultados del modelo de optimización (fuente: [8], elaboración propia)*

Analizando los costes totales, de operación, para el usuario, así como las distancias recorridas, el número de vehículos, los tiempos de espera, de acceso y en el vehículo y teniendo en cuenta el territorio total servicio, que puede variar según como se ha diseñado, puede determinarse cuál es la mejor configuración para el TAD de la ciudad. Esta configuración implicada un modelo y diseño específico para cada zona TAD a implantar.

Las evoluciones o pruebas de sensibilidad permiten repetir este proceso para cada valor del intervalo de la variable que se desea hacer evolucionar para determinar cuando la configuración escogida deja de ser la mejor. Este permite analizar como futuras devoluciones de la oferta o la demanda afectan al diseño escogido, determinando la robustez de la configuración y con fines meramente informativos o también consecuentes.

Como visto, el modelo de implantación utiliza los resultados de los modelos de TAD de Estrada et al (2018) [8] para desarrollar un proceso de implantación paso a paso que permita combinar de forma eficiente diferentes tipos de TAD en diferentes zonas y ver que configuración se adapta mejor al conjunto de la ciudad. El objetivo final de este proyecto es realizar una aplicación real del Transporte a la Demanda en la mejora de la movilidad urbana de la ciudad de Castellón. Se ha decidido desarrollar este apartado con fines académicos y para poder generalizar las conclusiones que de aquí se extraigan a otras ciudades, siempre en pleno conocimiento de las limitaciones y fortalezas del modelo.

## **7. Aplicación del modelo al caso de Castellón**

### **7.1 Razón de un caso aplicado**

En el proceso de desarrollo y perfeccionamiento de modelos, sean matemáticos o de pautas para alcanzar objetivos se recurre frecuentemente a casos aplicados. Estas aplicaciones reales tienen un doble sentido: la validación y refinamiento del modelo y la búsqueda de soluciones a las problemáticas reales planteadas en beneficio de la sociedad.

Es nuestro caso, como se ha mencionado en las últimas líneas, el desarrollo pautado del modelo se ha realizado únicamente con fines académicos y para poder generalizar los procedimientos a otros casos aplicados, no siendo el eje central del proyecto. En efecto, el objetivo real es observar como el TAD tiene potencial cualitativa y cuantitativamente para ser un actor central en la mejora de la movilidad urbana. Así pues, no debe entenderse el caso aplicado únicamente como una validación del modelo de implantación de TAD, sino sobre todo como un proyecto autónomo y un ejemplo de puesta a prueba del TAD en la mejora de la movilidad urbana, que sirva como confirmación de todo lo afirmado y que permita su observación en un caso real de mejora e implantación.

La ciudad escogida para el único caso aplicado del proyecto es Castellón de la Plana, para la que realizaremos una mejora de la movilidad urbana mediante el TAD. Procedemos a presentar las características básicas de esta ciudad y a realizar un análisis urbanístico y de movilidad con el fin de identificar las zonas potenciales donde implantar un TAD.

### **7.2 Castellón de la Plana**

Castellón de la Plana es una ciudad situada en la costa este de España. Bañada por el mar Mediterráneo, es la capital de la provincia de Castellón, situada entre las de Valencia y Tarragona, siendo la más septentrional de la Comunidad Valenciana, una de las 17 comunidades autónomas de este país.

Con las características propias de una ciudad media española, la actual urbe data del 8 de marzo de 1251, fecha en la que el rey “Jaime I entregaba un documento por el cual autorizaba a trasladar la villa de Castellón desde su emplazamiento original al lugar de la plana que considerara apropiado” [15]. En este preciso momento nace Castellón de la Plana, hasta entonces situada en

la cima de una montaña cercana, y desde entonces y como su nombre indica, una ciudad situada prácticamente plana con libertad para desarrollarse.

### 7.2.1 Características generales

#### Demografía

La ciudad de Castellón tiene una población total empadronada de 170.888 habitantes con un crecimiento interanual de 0.8% según publica el *Observatori del Ajuntament de Castelló* [16], una recopilación de “datos de diferentes Administraciones y el propio Ayuntamiento para proporcionar información a la ciudadanía y a los diferentes directivos, técnicos i empleados municipales” [16]. Todos los datos que a continuación se presentan han sido extraídos de esta fuente municipal y del INE.

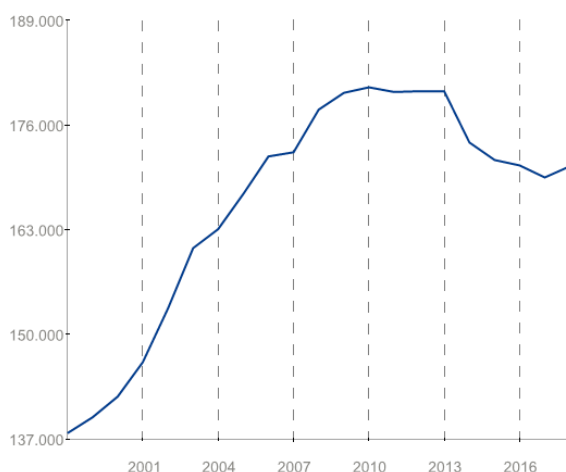


Ilustración 16: Evolución demográfica (fuente: [16])

En 1950, la población de Castellón estaba en torno a los 60.000 habitantes (Ilustración 16), pero esta “se duplica entre 1960 y 1981” (Dols y soriano, 2018) [6] hasta los 126.500. La “tendencia alcista continua por la pujanza económica y una abundante inmigración” [6]. La ciudad experimentó un fuerte crecimiento entre 1998 y 2010 pasando de 137.741 a 180.690. Tras el máximo histórico del 2010 [16], el número de habitantes de

estabilizó por la inversión del flujo migratorio a causa de la crisis económica, pasando de representar la población extranjera el 21.3% en 2010 al 15.6% en 2018, la “baja de la natalidad y el aumento de la mortalidad” [6]. Es con diferencia el municipio más poblado de toda la provincia.

El análisis de la estructura de la población será de utilidad para definir la edad media de los usuarios que utilizaran el servicio. En la Ilustración 17 se observa como la edad media de la población se sitúa entre los 40 y los 44 años, lo que muestra un equilibrio entre la población envejecida y joven [16]. Análogamente, el 51.6% de la población son mujeres. Si se agregan los datos anteriores según los usuarios potenciales del TAD, se observa que el 9.92% tienen menos de 10 años, el 10.44% entre 10 y 15 años, el 28.91% entre 15 y 40, el 37.62% entre 40 y 65, el 15.46% entre 65 y 85 y el 2.67% más de 85.

A partir de estos grupos puede hacerse una primera aproximación de la demanda real del servicio TAD. Los menores de 10 años no serán usuarios del TAD por tener menos necesidades de movilidad insatisfechas. Una pequeña parte del segundo grupo podría utilizar el servicio en casos concretos. Una cantidad importante de los usuarios potenciales saldrá del grupo entre 15 y 40 años, por ser habituales de las nuevas tecnologías, conocedores de la movilidad innovadora y menos motorizados. Se considera la mitad. De 40 a 65, por su

estatus socioeconómico serán poco propensos a utilizar el nuevo servicio. El grupo de 65 a 85 por sus necesidades de movilidad será una fuente importante de posibles futuros usuarios al igual que los jóvenes. Se considera 2/3. Finalmente, los mayores de 85 no constituyen una demanda potencial por sus mayores dificultades de movilidad que el servicio TAD no puede satisfacer. La suma de todos estos porcentajes nos permite estimar el número máximo de usuarios potenciales en aproximadamente un tercio de la población total de la ciudad, es decir, 56.962 habitantes.

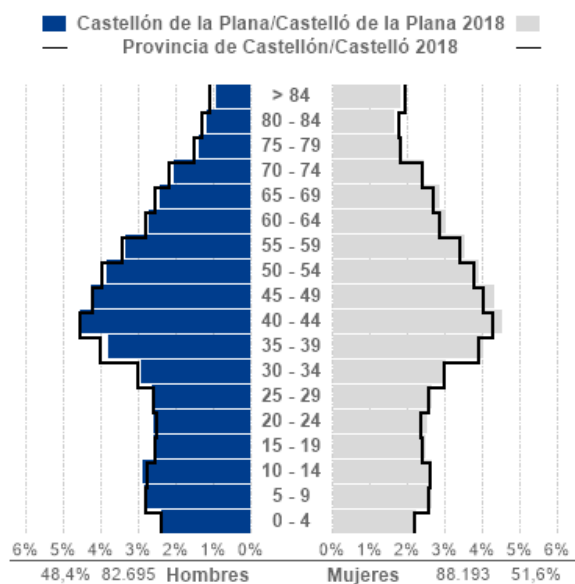


Ilustración 17: Estructura de la población (fuente: [16])

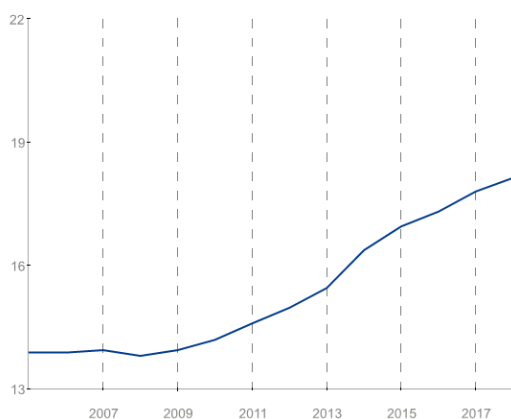


Ilustración 19: Evolución mayores de 65 años (fuente: [16])

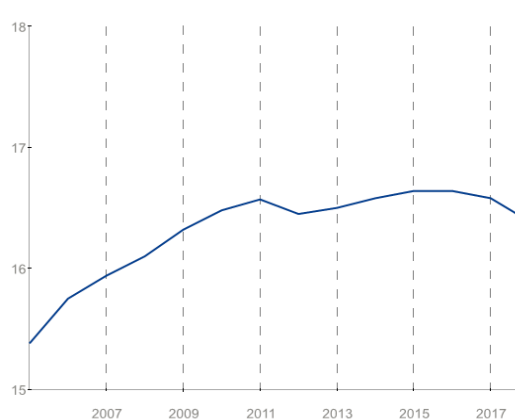


Ilustración 18: Evolución menores de 16 años (fuente: [16])

Por grandes grupos de edad, la población de más de 65 años ha aumentado en los últimos años (Ilustración 18 y 19) pasando del 13.9% en 2005 al 18.1% en 2018 [16]. Los menores de 16 años han aumentado ligeramente del 15.4% al 16.4%. De 16 a 65 años han sido el grupo más afectado por el cambio migratorio pasando del 70.7% al 65.5% en 13 años. En lo que respecta al crecimiento natural, este se situó en un -3 de diferencia entre los nacimientos y las muertes,

habiendo alcanzado un máximo relativo en 2008 con 923. Todo esto unido al hecho de que la tasa de natalidad ha bajó al mínimo de 8.3 ‰ en 2017 permiten concluir que la población local está en proceso de envejecimiento [16], algo que habrá que tener en cuenta al diseñar el servicio.

### Empleo

Procedemos a analizar ahora el mercado laboral de la ciudad. En el año 2018 hubo un total de 6.831 nuevos contratos, lo que supone una bajada del 8.1% respecto a los contratos del año anterior. En ese mismo año se registraron 13.408 nuevos parados [16]. Si se analiza la evolución de la proporción de parados sobre la población en edad de trabajar (Ilustración 20), en julio de 2019 esta es del 12%, equivalente a 88.632 parados [16] valores que se han mantenido estables desde 2017, con un descenso progresivo y tras el récord de 17.7% en febrero de 2014.



Ilustración 20: Evolución del nº de parados / población en edad de trabajar (fuente: [16])

Puede observarse como los indicadores económicos locales evolucionar de manera semejante a los nacionales, siendo el paro en España del 14.02% en julio de 2019 [17]. La proporción de trabajadores sobre la población en edad de trabajar es del 79.2%, la más alta desde 2008. Todo eso no afecta al número de usuarios potenciales antes definido, siendo valores razonables y habiendo sido previstos al definir ese porcentaje.

A modo informativo, el 12% de los trabajadores de la ciudad son autónomos, variable que alcanzó su máximo en 2014 con 14.2% [16]. Esto indica la presencia de un número importante de pequeñas, medianas y grandes empresas que, situadas en su gran mayoría en las zonas colindantes al centro de la ciudad, crean una necesidad de movilidad diaria.

### Actividad económica y renta

En este punto se describen las capacidades adquisitivas de la población. Se estudia también este aspecto por realizarse una evolución de la tarificación del servicio. Para un servicio público subvencionado esto no tiene impacto alguno. En 2016, la renta media disponible de toda la población fue de 21.338€ y la renta bruta media de 26.059€, siendo el cuarto municipio de la provincia [16].



En lo que respecta al número de empresas con sede en Castellón, este pasó de 11.959 en 2014 a 12.648 en 2018, siendo con diferencia el municipio de la provincia. que concentra más empresas. El 47.97% están dedicadas al sector servicio, el 34.63% al comercio el transporte y la hostelería, el 12.21% a la construcción y el 5.19% a la industria.

### Presupuestos

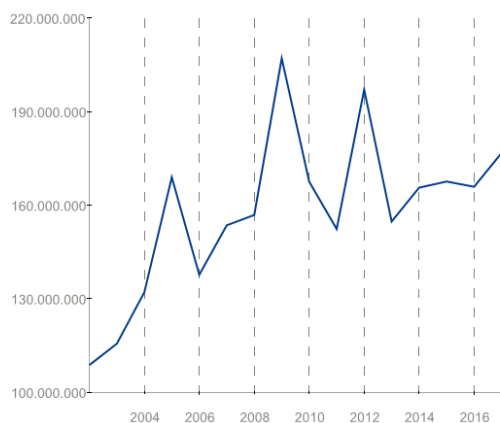


Ilustración 22: Evolución ingresos totales (fuente: [16])

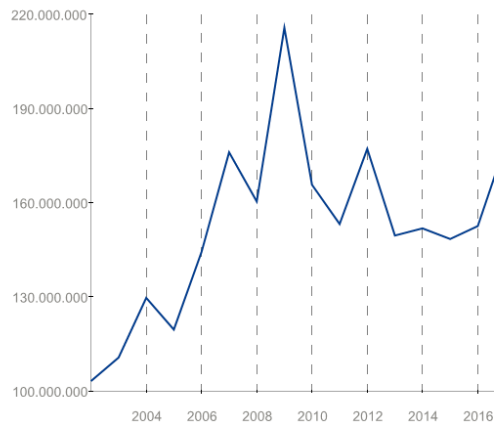


Ilustración 21: Evolución gastos totales (fuente: [16])

En lo que respecta a las arcas municipales, el ayuntamiento recaudó 176.777.092 € en el año 2017 (Ilustración 21) por lo que los presupuestos locales tienen la capacidad suficiente para asumir un proyecto de TAD con gestión tecnológica de rutas y reservas automatizada. Esta recaudación tuvo su máximo en 2009 siendo de 207.132.887 € el doble que en el año 2002 cuando se recaudaron 108.761.106 €. En el capítulo de costes asumidos por el ayuntamiento, estos ascendieron de 178.543.221 € en 2017 lo que implica un balance positivo de 1.766.129 €. Situación diferente a la que se dio en 2009 cuando los 215.749.940 € de costes superaron a los ingresos [16]. (Ilustración 22)

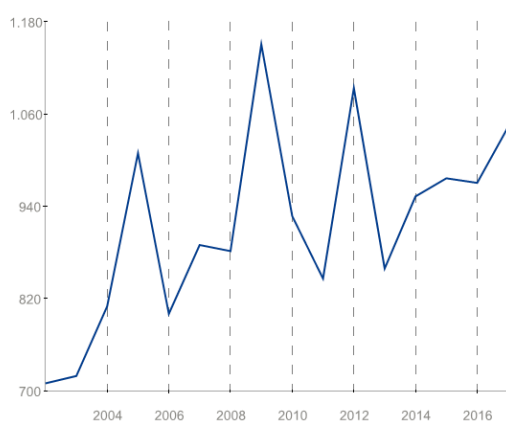


Ilustración 23: Evolución ingresos por habitante y presión fiscal por habitante (fuente: [16])



Desde la perspectiva ciudadana (Ilustración 23), en 2017 Se recaudaron 1.043 € de media por habitante de los cuales 766 € provienen de ingresos fiscales en forma de impuestos y tasas [16]. Este último tipo de ingresos ha experimentado una subida creciente ininterrumpida desde 2007 por lo que podría plantearse un aumento para financiar el TAD. El conocimiento de estos valores puede ser un indicador para la tarificación y subvención futuros del Transporte a la Demanda. Asimismo, la deuda por habitante es de 188€ en 2018, habiendo alcanzado su máximo de 719€ en 2012 y descendido progresivamente desde entonces. La inversión por habitante (Ilustración 24) alcanzó su mínimo relativo en 2013 siendo de 26€ tras el máximo de 295€ alcanzado en 2009 justo después del inicio de la crisis económica. Este último año ha sido de nuevo a 102€, a priori por ser año electoral [16].

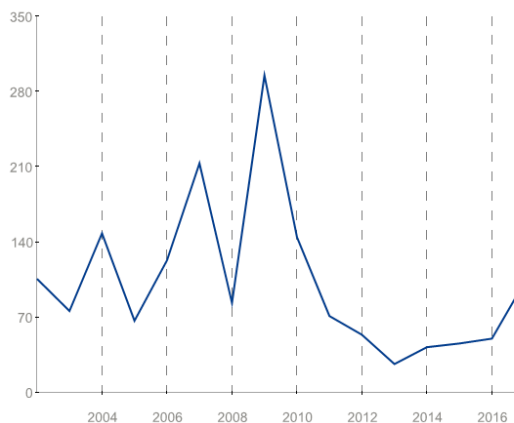


Ilustración 24: Evolución inversión por habitante (fuente: [16])

### 7.2.2 Características del desarrollo urbanístico

Conocidas las características económicas y demográficas principales de la ciudad, que nos han permitido hacer una aproximación de la demanda potencial y del financiamiento del TAD, procedemos ahora a una analizar la estructura urbana para la posterior identificación de posibles zonas de implantación.

#### Municipio mixto (urbano-rural)

Se muestran a continuación varias imágenes cartográficas extraído del *Geoportal del Ajuntament* [18]. En concreto, la Ilustración 25 muestra el plano global oficial del término municipal y ciudad de Castellón [19]. Se utilizará este callejero oficial basado en los planos del catastro para la definición de las zonas y la compresión del entramado urbano.



Ilustración 25: Termino municipal de Castellón (fuente: [19])

El término municipal de Castellón tiene 107,50 km<sup>2</sup> de superficie [20], estando delimitada al este por el Mar Mediterráneo y al oeste por el Desierto de las Palmas, una pequeña cadena montañosa oblicua al mar. Entre ambos hay una distancia de más de 11.5km. Dentro de los límites del término, y gracias a esta foto aérea (Ilustración 26) [18] puede distinguirse fácilmente las zonas urbanas de las rurales, con excepción de la llamada *Marjaleria*. Esta zona de humedales y antiguos



Ilustración 26: Imagen aérea del término (fuente: [18])

campos de cultivo de arroz, próxima a la costa, se sufrió una “urbanización” informal en las últimas décadas, por lo que puede considerarse una zona rural el proceso de urbanización por parte del ayuntamiento.

En la actualidad, aproximadamente la mitad del municipio está calificado como zona urbanizable y la otra mitad como zona natural o

agrícola. El proyecto de implantación contempla principalmente utilizar el TAD para la mejora de la movilidad urbana, sin embargo, al tratarse de un municipio de tamaño medio donde las zonas rurales periféricas dependen directamente del núcleo urbano central, especialmente en materia de transportes y movilidad, se incluirá en el análisis cualquier zona del municipio que presente indicios de estar mal deservida por el transporte público actual.

### Plan general

La evolución futura de las zonas urbanas y rurales queda recogida en el nuevo Plan general, que incluye el *Plan Estructural* y *Plan de Ordenación Detallada* [21]. Por no tratarse de un proyecto urbanístico, se ha analizado única y sucintamente el *Plan Estructural*, más genérico y estructurante, para entender cómo afronta la ciudad su futuro urbanístico e identificar los grandes proyectos urbanísticos que puedan afectar al diseño del TAD.

La versión preliminar fue aprobada entre 2018-2019 tras una consulta realizada desde el año 2016 con las organizaciones vecinales. El PGE ha sido remitido al órgano ambiental y el POD se encuentra en fase de revisión de alegaciones, no habiendo sido aprobados todavía. Estos planes tienen por objetivo la ordenación territorial y la organización y la definición de los usos del suelo a escala municipal durante los próximos 20 años.

En el plan se incluyen las infraestructuras, servicios, dotaciones, así como la llamada estructura verde, “un conjunto de espacios de valor ambiental, cultural, agrícola y una red de corredores ecológicos” que permitirán una vertebración del territorio y un mayor aprovechamiento de las zonas no urbanizadas por parte de los ciudadanos. Esta estructura verde incluye convertir el *Riu Sec* en una arteria ambiental y urbanística y construir varios carriles bici ejes rurales del término como el camino *Donació* o el *Caminàs* [21].

El nuevo plan no incluye el desarrollo inmediato de grandes zonas urbanas, pero sí de infraestructuras con un impacto directo en la movilidad, como los mencionados ejes ecológicos, la construcción del último tramo de la circunvalación, un carril bici en la ronda centro, una nueva calle paralela a la avenida de la Alcora. En cuanto a las dotaciones se reserva nuevo suelo para ampliar el hospital, para la plataforma logística y la estación intermodal, para una segunda depuradora en el sud y 380.000 metros cuadrados de nuevos parques entre otros. La Ilustración 27 [21] muestra la nueva zonificación y los usos del suelo actuales y futuros. En rojo los usos residenciales, en gris los industriales, en amarillo los terciarios y en verde las zonas rurales.

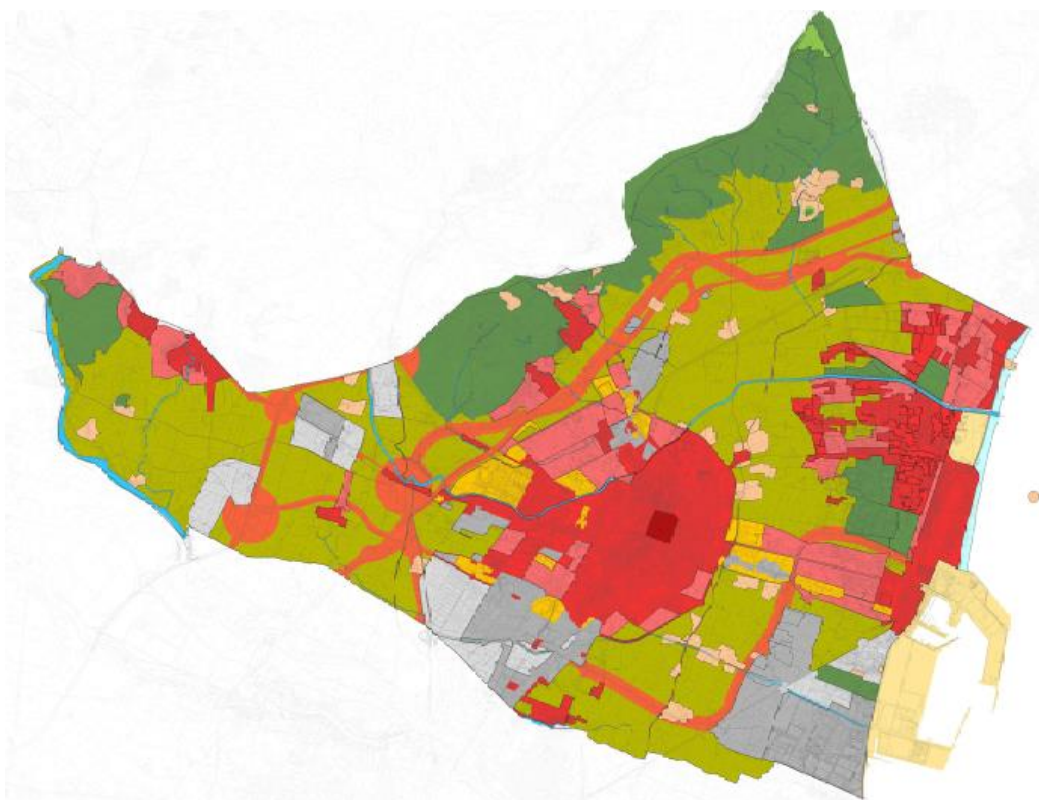


Ilustración 27: Zonificación del suelo (fuente: [21])

Es un plan concebido para “garantizar el uso racional y sostenible del suelo, mejorando la calidad de vida de la ciudad y cohesionando la ciudad para implantar un modelo de ciudad compacta” y para convertir Castellón en una “ciudad verde, moderna y amable apostando por un modelo de movilidad sostenible” [15] [21] en palabras de la propia alcaldesa.



Es un plan ambicioso, que busca evitar grandes desarrollos urbanísticos y se concentra en integrar y cohesionar lo existente, en potenciar los modos de transporte ligeros (ir a pie, en bici) y el transporte público y en reducir el uso del vehículo privado. El objetivo es “hacer viable el desarrollo sostenible y proteger los valores naturales de la zona” y para ello busca “disminuir el impacto negativo, contener los nuevos crecimientos al mínimo y regularizar y dignificar lo que existe” [15] [21].

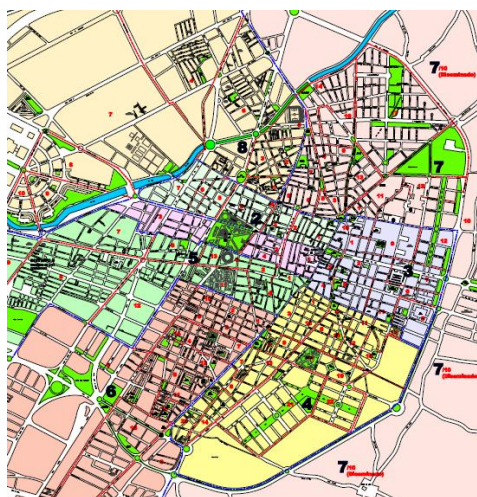
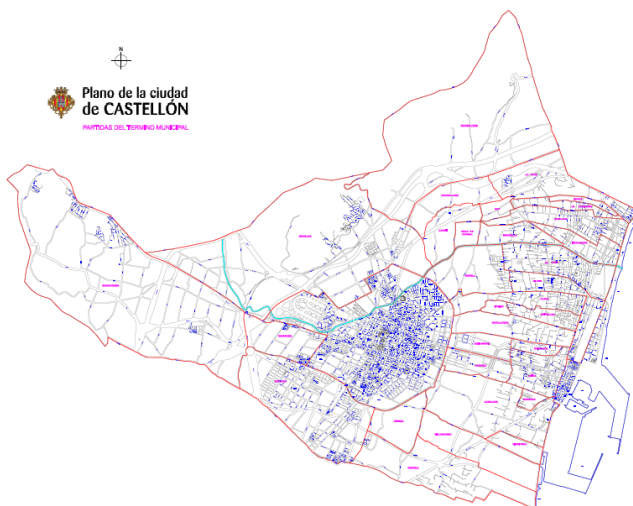
Por todo ello, el sistema de TAD concebido para el entramado urbano actual puede considerarse perenne ya que, lejos de no verse afectado por el plan, el concepto de ciudad inteligente y sostenible planteado lo justifican e impulsan a tener un papel clave.

### División administrativa

En lo que respecta a la división administrativa de la ciudad, no existe una única forma de clasificar las distintas zonas del municipio. Este análisis de las posibles divisiones del término tiene como único objetivo establecer como en que se basará el procedimiento de definición y nomenclatura de las zonas TAD.

Tradicionalmente, se ha utilizado el concepto de *Partidas* para organizar el conjunto del término municipal. Puede observarse en la Ilustración 28 [22] el territorio fragmentado y el núcleo urbano incluido en una única partida por lo que esta división no es válida.

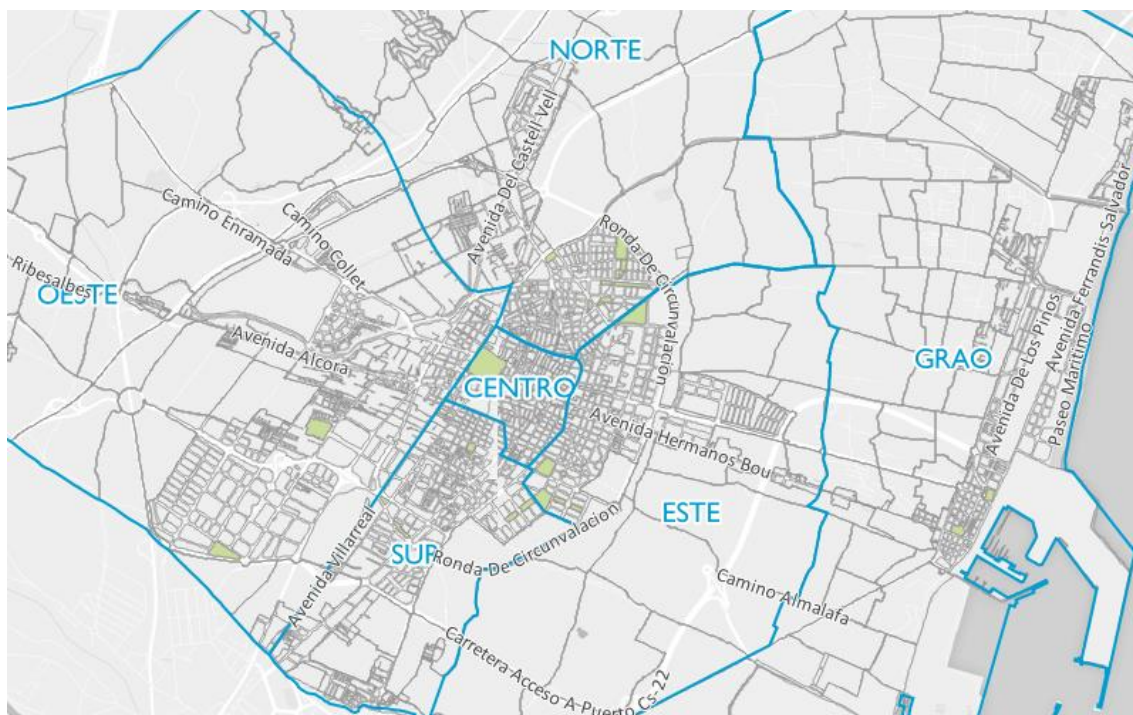
*Ilustración 28: Partidas del término municipal  
(fuente: [22])*



Una segunda utiliza los distritos y secciones electorales (Ilustración 29) [23]. Esta división permite identificar rápidamente las distintas zonas de la ciudad mediante el código numérico, pero excluye las zonas rurales del término.

*Ilustración 29: Distritos y secciones electorales  
(fuente: [23])*

Finalmente, puede dividirse el conjunto del término en termino en 6 Grandes distritos: Norte, grao, centro, este, sur, oeste. Es una división más genérica pero que permite identificar rápidamente la localización de la zona de implantación. Cada uno de ellos incluyen una parte urbana y otra rural a excepción del Centro que es un distrito urbano. Una combinación entre los distritos electores y geográficos será utilizada detallar las diferentes zonas. (Ilustración 30) [18].



*Ilustración 30: División del término en distritos geográficos (fuente: [18])*

## Contexto del desarrollo urbanístico

Antes de realizar el análisis de los ejes urbanos y núcleos de población del término de Castellón, procedemos a contextualizar y explicar brevemente la evolución urbanística de la ciudad y las grandes tendencias que la han caracterizado. Para entender las características del entramado actual debe entenderse el contexto en el que fue construido.

El rápido crecimiento demográfico anteriormente descrito “derivó en una constante ampliación urbana” (Dols y Soriano, 2018) [6]. Ante la ausencia de un nuevo plan general, estando el actual en fase de aprobación, el desarrollo urbano estuvo “articulada por los PAI (Planes de Actuación Integrada)” [6] que permitían la urbanización aislada de una zona de la ciudad, pero carecían de visión global. Así, las áreas construidas antes después de 1990, “igualan la ciudad anterior a 1950” [6]. Este rápido desarrollo del núcleo urbano principal sin una planificación global ha dado lugar a una estructura urbana ilógica. Puede observarse, con mayor claridad en las zonas más céntricas y salvo contadas excepciones, la ausencia de grandes ejes uniformes y estructurantes que permitan una circulación fluida en el interior del caso urbano. El urbanismo de Castellón es frecuentemente

utilizado como ejemplo de resultado de una acumulación de malas prácticas, sin un plan ejemplar como el de Cerdà en Barcelona o el de Haussmann en París que han sido la base de ciudades urbanísticamente impecables.

Adicionalmente, según Dols y Soriano (2016) [6] esta expansión estuvo caracterizada por “la inversión en los ejes de crecimiento” pasando de la tradicional “planta romboidal con un eje N-S”, influido por la N-340 y la AP-7, a tener ahora un “crecimiento mixto entre el radial y el armónico”, desarrollándose más el eje E-W. Esto ha hecho que el rombo original se haya transformado en una circunferencia, que incluye además “amplias zonas de reserva urbanizable” que han inducido el abandono de huertos. Esta nueva morfología urbana a conllevado el “desplazamiento del centro hacia el W” [6] al haber revalorizado esta zona con la nueva estación y la universidad, entre otros.

Los diferentes gobiernos municipales de las últimas décadas han dedicado grandes esfuerzos económicos y de planificación con el fin de contrarrestar este error histórico. Los nuevos desarrollos urbanísticos al norte, sur y este de la ciudad siguen estructuras geométricas claras, construyéndose grandes avenidas y ejes vertebradores. Se ha apostado igualmente por utilizar diversas tipologías, introduciendo con “bloques de baja densidad, modelos de ciudad horizontal o ciudad jardín” [6]. La construcción del campus universitario al oeste de la ciudad, fácilmente identificable por su forma ovalada y zonas verdes, supuso una “renovación urbanística” [6]. Se espera que, con el nuevo Plan General, en fase de aprobación, el aumento del suelo residencial y dotacional siga pautas lógicas y se evite el desarrollo aislado.

Este plan no exento de críticas, afirmándose que comente los errores del pasado y no aporta una solución a largo plazo a ciertas problemáticas endémicas [24].

#### Estructura urbana principal: ejes de la ciudad

Tras esta breve contextualización, procedamos ahora al análisis práctico. Antes de describir todos los enclaves urbanos actuales, cuyo análisis será la base de la selección de zonas potenciales para la implantación del TAD, vamos a analizar la estructura urbana primaria. En este apartado se describirán los ejes principales que vertebran el municipio haciendo hincapié en el núcleo urbano principal. Este análisis permitirá comprender como el sistema de transporte público actual ha sido diseñado, como es el urbanismo de la ciudad y como el TAD puede encajar.

En la Ilustración 31 [25] se observa en detalle la estructura urbana de la ciudad de Castellón. Es el mismo plano antes utilizado, pero se han marcado en rojo los ejes principales que vertebran la urbe, asumiendo la mayoría de los tráficos pasantes y constituyendo el esqueleto de la movilidad urbana de esta ciudad.

*Ilustración 31: Ejes principales del entramado urbano (fuente: elaboración propia)*



El núcleo central de la ciudad está delimitado por la ronda de circunvalación al sur, este y norte (en azul). La ronda oeste, planificada, todavía no ha sido concluida y el tramo existente no es un verdadero límite al haber sido construido alejado de la ciudad. Consideraremos la antigua Nacional 340 (N-340A, en rojo) como extremo oeste, quedando fuera únicamente la Universidad Jaime I de lo que son actualmente núcleos urbanos densos. Existen un total de 11 accesos principales al núcleo urbano que hemos definido. Dos al norte (la Av. del Castell Vell (N-340a) y la CV-149) conectando ambos con la AP-7, N-340 y Benicasim. Uno al noreste (Camí La Plana), que conecta con la Basílica del Lledó, *La Marjaleria* y las playas. Dos al este (Avenida del Mar y Hermanos Bou) que conectan con el Grao y el Puerto. Tres al sur (Av. de Casalduch, de Valencia y la Enrique Gimeno (N-340a) que conectan con Almazora, Villarreal, Burriana la N-340 y la AP-7. Finalmente, tres al oeste (CV-17, enlace con la Ronda Sur, la Carretera de l'Alcora y la Carretera de Borriol.

Dentro del núcleo urbano anteriormente delimitado son varios los ejes estructurantes. Destacamos los más importantes en la organización del tráfico urbano. Para cruzar la ciudad de norte a sur y/o a la inversa podemos optar por el eje Av. Benicasim-Ronda Magdalena-Ronda Mijares-Avenida de Valencia, Av. Benicasim-Calle San Roque-Calle Sanahuja-Calle Gobernador-Av. de Casalduch. Av. de Barcelona-Plaza de España-Av. de Villareal (lo que era el antiguo ferrocarril) y como ejes parciales, la Gran Vía, Casalduch-Herrero, Trinidad-Av Valencia, Columbrete-Pablo Iglesias, Dr Juan Bautista Palomo-Av Capuchinos-Gobernador. En dirección este-oeste encontramos los ejes Rafalafena-Plaza Clave-Joaquín Costa-Donoso Cortes, Hermanos Bou-Escultos Viciano-Puerta del Sol- San Vicente – Perez galdos, Av Alcora-Dr Clara-calle Navarra-



Plaza del real puerta del Sol-Asensi-Maestro Ripollés, Ceramista Godofredo Buenos Aires-Orfebres Santalínea-Pelayo, Chatellerault-Avenida Burriana-Parque del Oeste, los dos últimos ellos ejes cortados incompletos, existiendo también como eje cortado por el centro Paseo Morella-Paseo Ribalta-La Farola- Calle Colon- Cardona Vives-Avenida del Mar. En diagonal están Avenida del Rio Seco, antiguo rio cubierto, y Avenida Mare de Deu del Lledó. Las calles que conforman esos ejes se entrecruzan entre ellas y combinando varias de estas calles se han diseñado dos rondas de circunvalación interiores, la Ronda Centro (en verde) y la Ronda de Barris para ayudar a fluidificar el tráfico interior.

Finalmente, definimos con exactitud el centro de la ciudad, zona que deberá tratarse con especial atención al diseñar el TAD. El centro histórico original incluye las manzanas comprendidas entre la calle mayor y la avenida rey don Jaime. Para el proyecto de implantación, sin embargo, además de esta antigua ciudad amurallada, vamos a incluir otras zonas aledañas que en la actualidad y a efectos prácticos forman parte del centro de la ciudad. Así el centro de Castellón está queda delimitado por la Calle Gobernador, Escultor Viciano, la Plaza de la Paz, la Puerta del Sol, la Calle San Vicente, la Ronda Mijares, Ronda Magdalena, Plaza Clave y Plaza María Agustina.

#### Emplazamientos urbanos

Finalmente, por la condición mixta del municipio, con un 50% de zonas urbanizables y otro tanto de zonas rurales, pueden distinguirse diferentes núcleos urbanos delimitados por zonas rurales. Esta característica de la ciudad le otorga una cierta heterogeneidad que dificultará la implantación del sistema de Transporte a la Demanda.

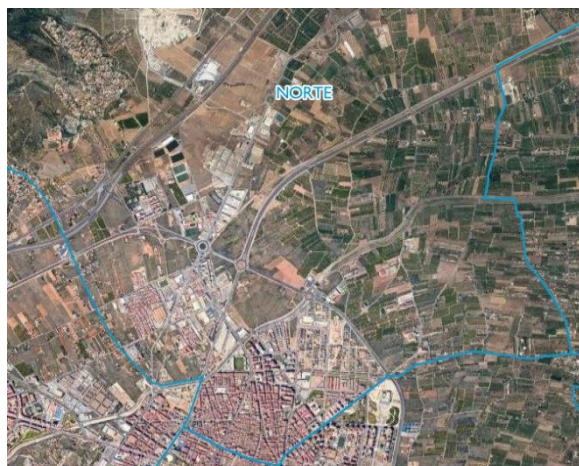
Una de las particularidades de Castellón, “compartida con núcleos como Sagunt, Borriana, Gandía o Valencia” [6] es la existencia en el término de “un distrito marítimo o portuario, el *Grau*”. Se trata del segundo núcleo de población más importante, teniendo en 2017 15.115 habitantes según el INE [6], y siendo el antiguo pueblo pesquero de la ciudad y la única zona urbana históricamente en contacto con el mar. Además del núcleo principal y el Grau, existen números núcleos secundarios en los 5 distritos periféricos. Estos pueden clasificarse en dos grandes grupos: *urbanizaciones* (conjuntos de parcelas de construcción reciente con demanda estacionaria) y *grupos* (“barriadas periféricas nacidas al amparo de la inmigración nacional de la segunda mitad del siglo XX” [6] y constituidas en núcleos de población claramente diferenciados y con habitantes permanentes). Algunos antiguos grupos han sido absorbidos por el núcleo urbano principal. Todas estas particularidades “añaden complejidad” [6] al diseño de la red de transportes y deberán tenerse en cuenta al diseñar el TAD. Se describen a continuación los enclaves urbanos existentes.

El núcleo urbano principal de la ciudad de Castellón, ya descrito cuando se ha hablado de la red principal de calles y que incluye el distrito CENTRO, ocupa una posición central en el término incluyendo el centro histórico (Ilustración 32). Se considerará parte de este núcleo todas zonas urbanas comprendidas dentro de la ronda de circunvalación en el norte, sur y este y a la derecha de las vías del tren en el oeste.

*Ilustración 32: Detalle del distrito centro (fuente: [18])*



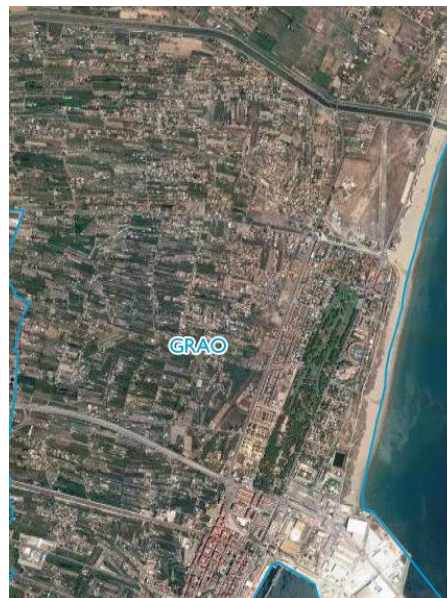
En el distrito NORTE (Ilustración 33), a la izquierda de N-340 y la AP-7, encontramos la Urbanización *Racó de la Torreta*. Al sur de esta se encuentra el complejo Tetuan que incluye las instalaciones deportivas de Chencho. También hay un polígono de almacenes a lo largo de la



*Ilustración 33: Detalle del distrito norte (fuente: [18])*

Avenida del *Castell Vell*, acceso norte a la ciudad. Este distrito incluye la zona norte de la ciudad, con el *Estadio Castalia* y limitada por la ronda este y la Avenida del *Riu Sec* y el núcleo formado por el Hospital General, el polígono de almacenes aledaño y varios grupos prácticamente urbanos: San Vicente, San Juan, San Agustín y San Marcos, entre otros menores.

En el distrito del GRAO, encontramos el anteriormente descrito *Grau* (Ilustración 34). En las cercanías se encuentra el Puerto deportivo, pesquero y comercial, así como el complejo industrial del Serrallo, que incluye una central térmica y una refinería. Igualmente, encontramos la anteriormente mencionada *Marjaleria*, una urbanización informal en proceso de consolidación situada su parte más densa al sur del Riu Sec. Se hallan también las urbanizaciones de la costa, que siguen la Avenida Ferrandis Salvador y del Serradal, ambas paralelas al mar. La zona al sur del Aeródromo siendo mucho más que la zona al norte y hasta llegar al termino de Benicasim.



*Ilustración 34: Detalle del distrito Grao (fuente: [18])*





En el distrito ESTE es prácticamente rural (Ilustración 35). Encontramos únicamente la zona este de la ciudad, que incluye el Auditorio y Palacio de Congresos y el *Palau de la festa*; el polígono empresarial y comercial alrededor de Avenida del Mar, incluyendo un centro comercial y el Recinto de Ferias y mercados, y el polígono de almacenes a lo largo de la Avenida Hermanos Bou.

Ilustración 35: Detalle del distrito Este (fuente: [18])

En el distrito SUR, además de la zona sur de la ciudad, de dimensiones importantes y que incluye el *Poliesportiu Ciutat de Castelló*, encontramos los polígonos de almacenes comprendidos entre la ronda sur y la Autovía de acceso al puerto (CS-22), Los polígonos al sur de esa autovía a lo largo de la Avenida de Valencia, todos ellos de dimensiones importantes, y varios grupos: Lourdes, San Andrés, Perpetuo Socorro, Roquetes y Santa Teresa, entre otros. (Ilustración 36)



Ilustración 36: Detalle del distrito sur (fuente: [18])

Finalmente, el distrito OESTE es el de mayores dimensiones (Ilustración 37) Encontramos en él núcleos económicos y académicos de importancia como La Universidad Jaime I, un núcleo urbano en sí mismo e independiente de la ciudad, o la Ciudad del Transporte, un polígono comercial y logístico de grandes dimensiones que incluye además la Universidad CEU Cardenal Herrera y el grupo Santo Domingo. Existe un polígono industrial a lo largo de la antigua Nacional 340, donde también se encuentran dos centros comerciales: *Salera* y *EstePark* y un centro deportivo. Al norte de la Ronda Sur se encuentran los grupos San Lorenzo y San Fermín. Hay un núcleo urbano a lo largo de la Carretera de la Alcora que incluye los grupos Reyes y San José Obrero, así como un polígono. Siguiendo esta carretera hacia los límites del término se encuentran los



Ilustración 37: Detalle del distrito Oeste (fuente: [18])

deportivo. Al norte de la Ronda Sur se encuentran los grupos San Lorenzo y San Fermín. Hay un núcleo urbano a lo largo de la Carretera de la Alcora que incluye los grupos Reyes y San José Obrero, así como un polígono. Siguiendo esta carretera hacia los límites del término se encuentran los

grupos Venta Nova y Rosita, otro polígono industrial, la prisión y las urbanizaciones La Dehesa, y La Galera, entre otras. Un poco más al sur se encuentra el grupo Virgen del Pilar. Finalmente, al norte de la universidad se encuentra, los grupos Roser, San Enrique y San Bartolomé y el viejo cementerio. En la carreta de Borriol, se encuentra el Ecoparque, el Mercado de Abastos, el Hospital La Magdalena y el Nuevo Cementerio. Finalmente, la parte del núcleo principal en este distrito es pequeña, pero incluye la Estación de Autobuses y Ferrocarriles Renfe.

### 7.2.3 Densidad de demanda y polos de atracción

La densidad de población está directamente relacionada con la densidad de demanda por lo que, conocida la primera y tras la modelización de la segunda antes explicada, podría conocerse con bastante exactitud el número de usuarios del servicio. En el caso de Castellón, la densidad media de población del conjunto del término municipal es de 1589.7 hab/km<sup>2</sup> [20]. Sin embargo, y como se ha observado en el punto anterior, la población no está distribuida uniformemente en el territorio por lo que existen importantes gradientes de densidad a tener en cuenta al modelizar la demanda. Por ausencia de datos y estudios oficiales tanto de densidad de población como de demanda, habiéndolos solicitado incluso al propio ayuntamiento, se ha descartado la realización de una modelización precisa de la demanda y se utilizarán para el caso aplicado valores aproximados fruto de la observación y análisis del territorio y de la experiencia profesional propia [44]. Esto será claramente una limitación de la implantación.

Por otra parte, procedemos a realizar un inventario de los polos de atracción de demanda principales que permitirán ajustar los valores utilizados de densidad de demanda. Estos son: Al norte, el Hospital General; al este, el Recinto de Ferias y Mercados, el *Grau* y las Playas; al sur los centros comerciales *Salera* y *EstePark* y la universidad privada CEU Cardenal Herrera; al oeste, la estación intermodal de Ferrocarriles y autobuses y la universidad pública Jaume I (UJI); finalmente, el centro histórico en su conjunto, por la existencia de comercios, monumentos y locales de ocio y restauración.

## 7.3 Análisis de movilidad

Procedemos ahora a realizar el estudio de la movilidad urbana de Castellón. El objetivo de este estudio será identificar los diferentes modos de transporte existentes y analizarlos desde una perspectiva cualitativa y/o cuantitativa. Los análisis y conclusiones a continuación expuestos se han basado en tres estudios y planes de movilidad: el *Plan de movilidad urbana sostenible (PMUS)* [26], el estudio *Hacia un nuevo modelo de movilidad en la Plana de Castelló. Evolución*

y propuestas de la red de transporte público de Dols y Soriano (2018) [6], y el *Plan de Movilidad Metropolitana Sostenible* [27].

Se analizará cada elemento activo de la movilidad castellanense con el fin de identificar sus problemáticas principales, especialmente aquellas ligadas al transporte público actual, para determinar si un servicio TAD tiene razón de ser y como debe diseñarse. La movilidad que aquí se identifique es la que será completada o parcialmente remplazada.

### 7.3.1 Contexto de la movilidad castellanense

Según Dols y Soriano (2018) [6] la ciudad ha experimentado importantes transformaciones “a lo largo del siglo XX y especialmente en las últimas décadas” que ha sacado a la luz las



Ilustración 38: Imagen de La Panderola, el antiguo tranvía de Castellón (fuente: El Mundo)

“secuelas en la planificación del transporte público” realizada hasta la fecha. Se han explicado anteriormente en detalle las evoluciones demográficas y urbanísticas sufridas por la ciudad. Exponemos a continuación únicamente los elementos de contexto principales de este proceso.

La “mutación” experimentada por la ciudad en el último siglo estuvo caracterizada por su “crecimiento demográfico y la consiguiente expansión urbana” [6] anteriormente explicada. En efecto, Castellón pasó de ser una ciudad pequeña y compacta con un área de influencia local, a convertirse en una ciudad media con un impacto directo en las poblaciones adyacentes. En este sentido, se produjo una “creciente interconexión entre núcleos, aumentado los movimientos pendulares” [6]. Análogamente, el aumento de la población obligó a “una aceleración en la urbanización de áreas periféricas” y siguiendo un proceso “común a otras ciudades” se llevó a cabo “una dispersión de múltiples centros de atracción”, una “descentralización de servicios y su ubicación periférica” y la implantación de “dotaciones antes inexistentes” (Dols y Soriano, 2018) [6]. Esto incluyó la construcción en las afueras de dos campus universitarios, privado y público, centros comerciales, la nueva estación intermodal, la nueva ciudad de la justicia, el Recinto de Ferias, el Palau de la Festa y el Auditorio y Palacio de Congresos, la nueva comisaría y centros de salud, entre otros.

Estas importantes transformaciones urbanas y otras como la utilización de diversas tipologías de ciudad (con la introducción de modelos de ciudad horizontal o los bloques de baja densidad)



condujeron progresivamente y sin mayor dificultad a la ciudad que ahora conocemos y que anteriormente se ha analizado. Sin embargo, desde la perspectiva del transporte, implican “cambios drásticos en las pautas de movilidad de la población” dando lugar a “una nueva realidad en constante evolución” a escala no solamente municipal sino supramunicipal, con una conurbación que “podría convertirse en un área metropolitana” [6] en los próximos años.

De esta manera, en las últimas décadas, la política de transporte urbano ha tenido que “ir adaptándose y lo seguirá haciendo continuamente” según Dols y Soriano (2018) [6]. Sin embargo, esta evolución necesaria hacia “la nueva movilidad del siglo XXI” no ha sido tan rápida como, por ejemplo, la aparición de “nuevos polos de atracción con nuevas demandas de transporte” lo que ha “impuesto la dependencia del automóvil privado” [6] dando lugar a la movilidad urbana que hoy conocemos y que procedemos a analizar.

### *7.3.2 Transporte público colectivo*

La red actual de transporte público colectivo es el resultado de un intento de adaptación progresivo a las evoluciones demográficas y urbanísticas y a la realidad económica que ha caracterizado Castellón desde 1888, habiendo sido “la configuración urbana determinante en el establecimiento de los servicios regulares de pasajeros” (Dols y Soriano, 2018) [6].

#### Tipologías existentes

De los tres medios de transporte colectivo que llegaron a coincidir en los 60 (tranvía, autobús y trolebús), se conserva únicamente la red de autobús urbano, incluyendo todavía hoy, aunque con pequeñas modificaciones, las 6 líneas originales. Este servicio es operado desde 1969 por Autotransportes Colectivos Castellonenses, S.A. (ACCSA), habiendo renovado la concesión en 2013 [6].

Además de los autobuses existe en Castellón un segundo medio operado por Vía Reservada SA, consorcio formado por Autos Mediterráneo y Hicid, propietario a su vez de ACCSA). En 2006 se inició la construcción de la primera línea del originalmente conocido como TVRCas, actual



*Ilustración 39: TRAM circulando por la vía reservada (fuente: [15])*

TRAM (Ilustración 39). Como mencionan Dols y Soriano (2018) [6], el proyecto consistía en la

“creación de una red de transporte sobre plataforma reservada” que permitieran solucionar los “problemas de movilidad del área metropolitana”. Se optó por un sistema BRT (Bus Rapid Transit), con 6 trolebuses 100% eléctricos con alimentación por catenaria y guiado óptico. De las dos líneas presentadas en 2005 solo se construyó la Línea 1 entre la UJI y el Grau, completada entre 2008 y 2014 y operativa actualmente. La “apuesta por un modo de transporte con vía reservada” [6] aunque polémica (su paso por el Parque Ribalta fue judicializado) y costosa (se estima en más de 100 M la inversión total) supuso un impulso de la red de transporte colectivo urbano como veremos analizando el número de usuarios [6].

En 2013 se crea y empieza a promocionar la marca TUCS (Transport Urbà de Castelló) [28] (Ilustración 40).



Ilustración 40: Logo de TUCS (fuente: [28])

### Evolución de la estructura y características de la red

El proceso detallado de la evolución experimentada por la red de transporte público desde su creación no se explicará por exceder los límites del proyecto. Aquí se indicarán sucintamente los eventos más destacables que han marcado esas evoluciones hasta la red de transporte público colectivo que ahora conocemos.

Desde la creación del servicio urbano en 1961 se fueron introduciendo nuevas líneas sucesivamente sin prácticamente reformar las ya existentes. Este proceso ha estado presente hasta prácticamente la actualidad.

Las primeras modificaciones reales en la historia de la red tuvieron lugar entre 2006 y 2008 con la inauguración del Tram y para adaptarse a las “recientes necesidades de movilidad fruto de la periferalización de servicios” (Dols y Soriano, 2018) [6]. No fueron reformas integrales del conjunto del servicio sino pequeñas modificaciones fruto de la nueva realidad, quedando pues dependiente una “anunciada reestructuración” con impactos reales en la calidad del servicio y los costes operacionales. En 2010 se hicieron de nuevo pequeñas reformas y se alcanzó el máximo de flota con 41 vehículos llegando al que es considerado como el “mejor servicio urbano de la historia de la ciudad” [6] situando a “Castellón entre las ciudades con más de 150000 habitantes que mejores precios y servicios ofrecían a los usuarios”. Esta calificación fueron más que palabras y se pudo comprobar su veracidad directamente en el número de usuarios. En el año 2011, y como se verá en el siguiente apartado, se obtiene el récord histórico de pasajeros [6].

Es en este momento que el ayuntamiento decide “acometer la anunciada reestructuración de líneas” [6] en un contexto de crisis económica y de recortes presupuestarios empujados por la menor recaudación. La reestructuración, que debía marcar un antes y un después en el diseño

global de la red se basó en recortar múltiples itinerarios y frecuencias en las líneas “coincidentes con el Tram” y forzando a los ciudadanos a realizar transbordos, una práctica poco frecuente hasta el momento [6]. Estas reformas hicieron descender el número de usuarios en las líneas más afectadas. Todavía por la crisis, en 2012 se lleva a cabo a una fuerte reestructuración que conllevó la reduciendo de la flota en 8 vehículos, entre otros recortes. Este paquete de desafortunadas reformas, comentan Dols y Soriano (2018) [6], tuvo “consecuencias nefastas” para el servicio de transporte público. Fue muy negativa por estar mal planteada haciendo bajar el número de usuarios en 1.1 M. Tras la apertura de la línea completa del Tram en 2014 se lleva a cabo una nueva reestructuración para adaptarse permanentemente al nuevo modo. Con el cambio de gobierno en mayo de 2015, se hicieron importantes mejoras que incluyeron entre otras, la implantación del servicio nocturno. Finalmente, entre 2016-2017 se aplicaron las reformas contempladas en la primera fase del PMUS [26] del que se hablara más abajo. Siendo esta última reforma realizada, su resultado es la red actual de transporte colectivo. Queda pendiente una segunda fase estará completada en 2020.

La red actual está compuesta por 17 líneas [15] [28] de autobús diurnas con una numeración que va desde la L1 a la L18, con excepción de la L14 que fue suprimida. A parte de por su número las líneas utilizan las cabeceras en su nomenclatura. La L8 y la L18 son las líneas circulares y las siguen trayectos más o menos cartesianos con recorridos N-S u E-O. Análogamente existe una línea nocturna la N1 y una línea del Tram, la T1. Finalmente, existe una línea Castelló-Grau y una lanzadera entre el Tram y Serradal. A continuación, se presenta el plano completo de la red actual de transporte colectivo (Ilustración 41) [29].

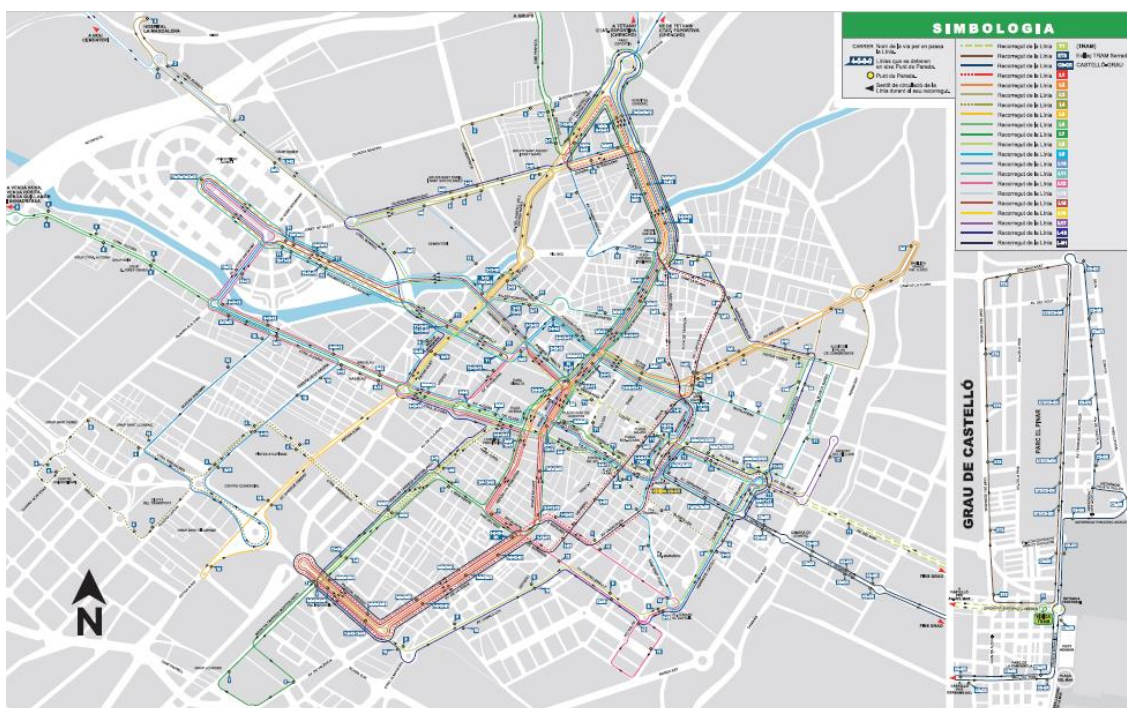


Ilustración 41: Plano de rutas de transporte colectivo (fuente: [15] [28])



Puede observarse que la red está centrada en los focos UJI, centro histórico, Hospital General y Avenida Valencia. Un análisis más detallado de la red se realizará en un apartado posterior con el objetivo de hacer una propuesta de reestructuración que permita implantar el TAD en “un escenario actual marcado por un nuevo modelo de movilidad, más eficiente, menos contaminante y que potencia decididamente el transporte público” [6].

### Estadísticas

Procedemos ahora a analizar las estadísticas básicas que caracterizan la red y que nos permitirán cuantificar su nivel de servicio y rentabilidad. Los datos que a continuación se muestran proceden del artículo desarrollado por Dols y Soriano (2018) [6] y de fuentes municipales [15].

En primer lugar, hagamos un breve repaso histórico de la evolución del número de usuarios desde su creación hasta nuestros días. En 1969, década del lanzamiento, el servicio contaba con 1M de usuarios, pasando a ser el doble, 1.9M, en 1974. En los años 80 se produjo un fuerte descenso del número trayectos realizados como consecuencia de la “generalización del uso del vehículo particular” [6] por las nuevas tendencias de movilidad y la incapacidad del transporte público para absolverlas, con un descenso de 600.000 usuarios desde la segunda mitad de los años 70. La década siguiente, los años 90, estuvieron caracterizados por la recuperación de usuarios, llegando a los 1.8 millones en 1995. A pesar de este crecimiento, los estudios municipales constatan que “el perfil de los usuarios estaba reducido a la población cautiva” [6], es decir, personas mayores, mujeres, niños y personas con movilidad reducida. El transporte público de Castellón ocupada pues un papel secundario en la movilidad global del conjunto de la población.

El siglo XXI fue el del crecimiento. La fuerte expansión demográfica y urbana antes descrito le acompañó un aumento importante en el número de viajeros. La primera reestructuración de líneas que se realizó e incluso antes de la inauguración del Tram, se alcanzaron en 2007 los 4 M de viajeros. La introducción de este nuevo modo de transporte tuvo un el llamado “efecto Tram” [6] y supuso un impulso directo para el transporte público, alcanzándose en 2009 los 4.5 M de usuarios del transporte urbano, siendo 6.25 M si se incluyen todos urbanos realizados con las líneas interurbanas. Siguiendo esta tendencia, en el año 2011 se alcanza el récord histórico de usuarios anuales del sistema público castellonense con 6.3 M, gracias en gran parte, al éxito indiscutible del Tram. Estas evoluciones se muestran en la Tabla 5.

	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Urbano (ACCSA)	3 716 515	4 037 150	4 119 200	3 962 716	3 925 252	3 825 160
Tram			264 069	602 478	636 334	875 391
Castelló-Grau	1 434 561	1 395 521	1 344 306	1 271 133	1 242 317	1 246 336
Castelló-la Ratlla (CS-Vila-real)	159 750	155 414	139 410	128 390	115 937	107 978
Castelló-Perp. Socorro (CS-Almassora)	214 424	187 745	215 405	206 448	199 704	188 237
Castelló-H. La Magdalena. (CS-Borriol)	206 118	157 747	119 441	74 091	65 352	70 243
TOTAL	5 731 368	5 933 577	6 201 831	6 245 256	6 184 896	6 313 345

Tabla 5: Evolución de la frecuentación urbana (fuente: [6], elaboración propia)

En los años siguientes hubo un cambio de tendencia. A partir de 2011, y por las desafortunadas pero necesarias reformas realizadas en la red, el número de usuarios empezó a descender. Esta tendencia se mantuvo hasta el año 2014. “En su primer año de funcionamiento en la totalidad de la línea” (Dols y Soriano, 2018) [6] el Tram ganó 1.4 millones de viajeros “lo que permitió recuperar usuarios en el conjunto de la red urbana”. Este éxito, sin embargo, fue a costa del descenso de usuarios en la mayoría de las líneas tradicionales, volviéndose todavía más ineficientes. La Tabla 6 muestra estas evoluciones.

	2014	2015	Diferencia
Urbano (ACCSA)	2 985 796	2 670 313	-315 483
Tram	726 034	2 112 867	1 386 833
Castelló-Grau	1 054 263	319 372	-734 891
Castelló-la Ratlla (CS-Vila-real)	81 111	81 848	737
Castelló-Perp. Socorro (CS-Almassora)	164 763	156 569	-8 194
Castelló-Hosp. La Magdalena (CS-Borriol)	54 953	35 851	-19 102
TOTAL	5 066 920	5 376 820	309 900

Tabla 6: Evolución de la frecuentación 2014-2015 (fuente: [6], e. propia)

Tal fue la importancia de la apertura de la línea completa del Tram, que su parte modal pasó de representar el 14% del total de usuarios de transporte público en 2014 al 39% en tan solo un año después. Este cambio de tendencia tras el fuerte descenso registrado entre 2011 y 2015, y el peso que este nuevo modo de transporte adquirió rápidamente no solo permitió una recuperación progresiva de la demanda desde 2015, sino que demuestra el impacto de proyectos ambiciosos e innovadores y sus beneficios, según Dols y Soriano (2018).

Las medidas del PMUS [26], antes mencionado y que será explicado más adelante, aplicadas desde 2017 supusieron un segundo impulso al transporte público unido al del Tram. Estas tuvieron una mayor incidencia en la línea del Grau a Castellón, que tras la apertura del Tram había sufrido una caída del 70%, siendo el incremento de este un espectacular 191%. Estas medidas tuvieron

un impacto directo en la mejora del servicio y condujeron a un incremento del número total de viajeros del 32% en 2016 y del 22% en 2017 [6].

Analizamos ahora individualmente la evolución reciente del número anual de pasajeros de cada una de las líneas que componen el servicio de transporte urbano. En lo que respecta al Tram, del que se ha hablado anteriormente, este experimentó un crecimiento del 8% en 2016 y del 11% en 2017, demostrando que sigue siendo un elemento clave del sistema [6]. Para el resto de las líneas, en la Tabla 7 se muestra el número de pasajeros anual y la evolución entre 2016 y 2017.

	2015	2016	2017	Variación 2016-2017	% de diurnas
L1	797 105	838 281	907 473	8.25 por ciento	29.2%
L2	295 116	284 374	294 540	3.57 por ciento	9.5%
L3	63 063	64 063	84 675	32.17 por ciento	2.7%
L4	289 969	329 310	509 208	54.63 por ciento	16.4%
L5	370	332	345	3.92 por ciento	0.0%
L6	278 162	286 758	307 958	7.39 por ciento	9.9%
L7	160 052	147 447	125 894	-14.62 por ciento	4.1%
L8	83 657	78 487	78 814	0.42 por ciento	2.5%
L9	0	6 957	7 747	1.73 por ciento	0.2%
L10	172 714	186 967	242 544	29.73 por ciento	7.8%
L11	126 386	118 911	122 152	2.73 por ciento	3.9%
L12	148 631	145 925	156 268	7.09 por ciento	5.0%
L13	4 333	3 967	4 002	0.88 por ciento	0.1%
L15	159 404	165 074	175 304	6.2 por ciento	5.6%
L16	69 380	65 824	77 448	17.66 por ciento	2.5%
L17	10 773	9 786	9 090	-7.11 por ciento	0.3%
N1	0	1 849	7 433	302 por ciento	
TOTAL Diurnas	2 659 115	2 732 463	3 103 462		
TOTAL	2 659 115	2 734 312	3 110 895		

Tabla 7: Evolución de la frecuentación por línea (fuente: [6], e. propia)

Puede observarse como la mayor parte de líneas no alcanzan un nivel de uso mínimo para poder ser consideradas rentables o incluso razonables. De las 17 líneas diurnas existentes, apenas 5 superaron los 200.000 usuarios al año en 2017, lo que implica aproximadamente 50 pasajeros por línea y hora (línea 1, 2, 4, 6, 10), representando el 72.9% del total (Dols y Soriano, 2018) [6]. De estas, únicamente la 1 y la 4 superan el medio millón, siendo esta primera la línea más utilizada de la ciudad con más de 900.000 pasajeros al año, o lo que es lo mismo, el 28.5% de todo el sistema. En lo que respecta a la evolución porcentual, solo la línea 3, la 4, la 10 y la 16 experimentaron fuertes crecimientos. En el polo opuesto se encuentran las líneas 7 y 17 que sufrieron un fuerte descenso del número de pasajeros. Finalmente, las líneas menos utilizadas en el año 2017 fueron la 5, 9, 13 y 17, siendo la 5 la menos frecuentada con 345 pasajeros. Así las

líneas pueden organizarse de mayor a menos número de usuarios como: 1>4>6>2>10>15>12>7>11>3>8>16>17>9>13>5. El servicio nocturno, inaugurado en 2016, experimentó un fuerte crecimiento en su primer año pasando de 1800 a 7400 pasajeros [6].

Así pues, como mencionan Dols y Soriano (2018) [6], se observa como las líneas urbanas de ACCSA (sin el Tram) han experimentado un incremento progresivo en el número de usuarios desde 2015 pero estando la cifra total alejada de los datos de 2009 y habiéndose producido la subida fuerte en 2017 gracias a las mejoras del PMUS [26]. Aquellas líneas con los datos absolutos y porcentajes más bajos no fueron reformadas por el PMUS por lo “las reformas implantadas no han tenido repercusión en ellas” [6], como la 8 y 9, esta última por tener un recorrido coincidente con el Tram, al igual que 11. Por otra parte, gracias a la integración de las líneas interurbanas en el marco tarifario realizada en 2015 se ganaron casi 70.000 viajeros más sin que su parte porcentual en el conjunto “haya experimentado una gran variación pasando del 5.1% en 2015 y 5.5% en 2017” [6], siendo este sin embargo una mejora del nivel de servicio.

Analizamos ahora la evolución global en el número de usuarios experimentada por cada uno de los servicios que integran el transporte público urbano en los últimos 10 años. En la Ilustración 42 puede observarse que, como se ha venido diciendo, el “crecimiento más extremo” ha sido el experimentado por el

Tram [6], con un fuerte crecimiento desde 2014. Este nuevo servicio fue todo un éxito para el transporte urbano local, a pesar de su coste relativamente desmesurado, y permitió no solo “compensar el

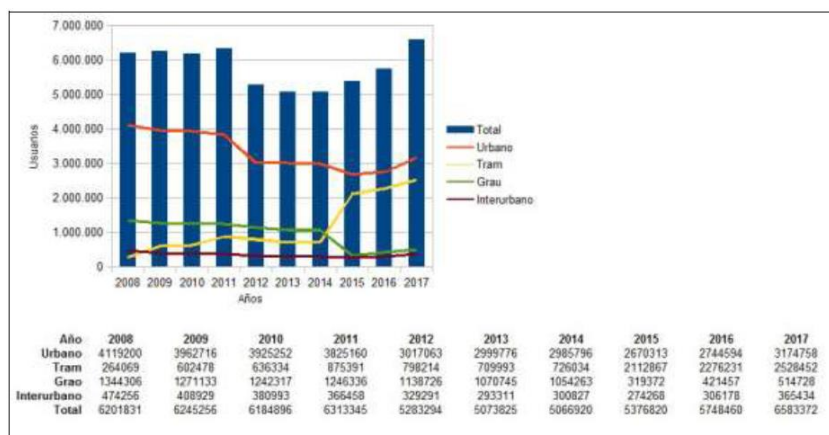


Ilustración 42: Evolución comparativa entre servicios urbanos (fuente: [15])

descenso en las otras líneas, sino que ganar usuarios al cómputo global tras tres años de bajadas” (Dols y Soriano, 2018) [6]. Se observa igualmente la bajada en el número de recorridos del bus urbano entre 2011 y 2015 con su posterior recuperación, que los recorridos interurbanos se mantienen estables y que la del Grau se recupera lentamente tras el impacto de la apertura del Tram.

Año	Usuarios	Población
2008	6 204 035	177 924
2009	6 245 256	180 005
2010	6 184 896	180 690
2011	6 313 345	180 114
2012	5 283 294	180 204
2013	5 073 825	180 185
2014	5 066 920	173 841
2015	5 376 820	171 669
2016	5 748 460	170 990
2017	6 583 372	169 498

Tabla 8: Usuarios del servicio urbano y población (fuente: [15], elaboración propia)

Finalmente, procedemos a comparar el número de usuarios del transporte público con la evolución demográfica de la ciudad de la que se ha hablado anteriormente. Como se observa en la Tabla 8 hasta 2011 “el incremento de usuarios era pareja al de población.” En 2012, sin embargo, el fuerte descenso anteriormente descrito tuvo lugar cuando la población era récord, lo que confirma que, además del paro y la crisis fueron la “reducción y una inadecuada reestructuración de los servicios de transporte urbano los que provocaron la pérdida de 1.1 millones de viajeros” [6]. Con la llegada del Tram en 2015 se empieza a recupera en una nueva tendencia “en la que el conjunto de líneas urbanas empieza a ganar usuarios a pesar del descenso demográfico”. Con las medidas del PMUS [26] el crecimiento se duplica del 7% de 2016 al 15% de 2017, impulsado igualmente por la recuperación económica y al incremento de la inversión pública [6].

### Tarificación

Finalmente, procedemos a analizar la tarificación del servicio haciendo un breve repaso a su evolución y explicando sus características actuales, una vez más gracias al análisis de Dols y Soriano (2018) [6] y los datos del Ayuntamiento [15] y TUCS [28].

En el año 1989 se estableció por primera y única vez desde su creación en los 60 la gratuidad del servicio de transporte público urbano, de la línea al Grau y de ciertos recorridos urbanos que realizaban las líneas interurbanas. Esta medida tenía por objetivo popularizar la red y incentivar su uso, algo que no solo no ocurrió, sino que la falta de recaudación para realizar inversiones en la flota obligó a su supresión en 1996. El servicio ha sido de pago desde entonces [6].

En 2006 se implantó en toda la red una tarjeta de transporte sin contacto llamada *Mobilis*. Esta tarjeta no solo facilita los transbordos en un mismo trayecto, sino que permite un acceso más rápido a los vehículos, reduciendo el tiempo de parada y puede ser recargada reduciendo el

consumo de papel. Con los recortes de 2012 se produjeron “incrementos en las tasas del transporte y supresión para algunos colectivos de la gratuidad” [6]. En 2015, el nuevo ayuntamiento creó el bono social para desempleados, *Actívate* que permite acceder a estos colectivos acceder al servicio a un precio reducido. Igualmente, en ese mismo año, se llevó a cabo la “integración tarifaria de los recorridos urbanos realizados en las líneas interurbanas, permitido a sus usuarios acceder a todas las ventajas” [6] y dando un paso hacia la posible integración efectiva de todo el transporte público en un futuro modelo de *Mobility-as-a-Service (MaaS)*.

Las tarifas actuales son variadas y salvo algunas excepciones como el billete anual o trimestral la mayor parte de casos de uso quedan cubiertos [15] [28]. El billete individual cuesta actualmente 1.05€, el bono de 30 días para jóvenes y el bono de diez viajes 25.5 y 6.8€ respectivamente. El bono de 30 días y el bono de 10 viajes para adultos cuesta 30.0 y 8.2€ respectivamente. Los menos de 7 años viajan gratis y existen descuentos para becados universitarios y familias numerosas tanto de carácter general como especial. Finalmente, para los pensionistas, colectivo mayoritario entre los usuarios del servicio junto a los jóvenes, el BONO ORO es gratuito para pensiones inferiores a 645.3€, y cuesta 9€ o 18€ para pensiones mayores o menores de 1000€, respectivamente. Este bono permite trayectos ilimitados. Los bonos *Actívate Oro* y *Plata* cuestan 3y 6€.

### 7.3.3 Vehículo privado

En un contexto como el castellonense y como consecuencia de las deficiencias observadas en el sistema de transporte público hasta hace prácticamente 2 años, el vehículo privado se ha erigido como el actor principal de la movilidad castellonense, ante la falta de un servicio alternativo de calidad para la realización de los trayectos internos.

#### Tasa de motorización

El principal modo de transporte en la ciudad es el vehículo privado como puede concluirse del análisis de los datos de motorización del *Observatori del Ajuntament de Castelló* [16].

En 2018 había en la ciudad 515 vehículos de turismo para el transporte de personas por cada 1000 habitantes (Ilustración 43) [16] lo que eleva la tasa de motorización al 51.5%

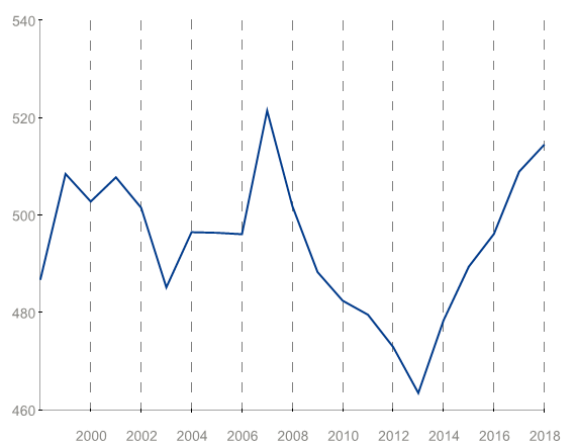


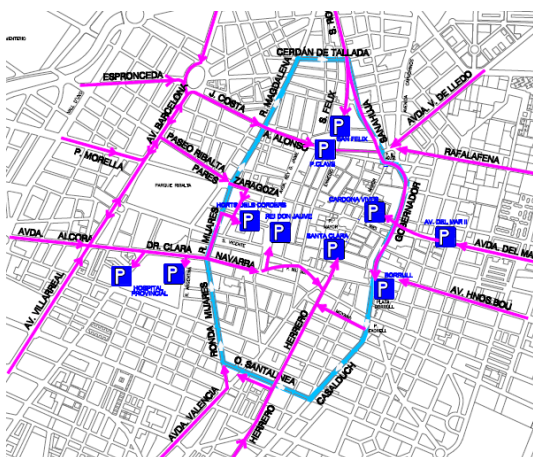
Ilustración 43: Vehículos de turismo por 1000 hab. (fuente: [16])

siendo prácticamente idéntica en valores y evolución a la del conjunto de España [30]. El mínimo relativo se dio en 2013 con 46.3% y sigue una progresión creciente desde entonces. En lo que respecta a la edad de esos vehículos, aproximadamente más del 50% del total son anteriores a septiembre de 2008 y más del 10% tiene más de 15 años lo que indica una flota envejecida con sus correspondientes externalidades.

En un término municipal diseminado y tratándose de una ciudad de tamaño medio, estas cifras son lógicas. Se desconoce con exactitud la parte modal que esto representa.

## Política de estacionamiento

La política de estacionamiento de la ciudad ha experimentado una importante evolución en las últimas décadas acorde con el objetivo de mejora de la movilidad.



*Ilustración 44: Parkings y accesos del casco histórico (fuente: [15])*

Se construyó una vasta red de parkings subterráneos para suplir la tradicional falta de aparcamiento en los edificios antiguos y el centro de la ciudad (Ilustración 44). Hay un total de 10 parkings públicos de rotación de gran capacidad [15] y otros tantos privados con alquileres a largo plazo, lo que implica prácticamente un parking subterráneo por plaza. Esto permite disminuir los “desplazamientos de agitación” en palabras del propio Ayuntamiento [15], aquellos innecesarios sin un destino concreto, como la búsqueda de

estacionamiento, evitando las externalidades negativas que estos conllevan.

En el mismo sentido, se implementó el estacionamiento a tiempo limitado (zona azul O.R.A.) con el objetivo de “conseguir una movilidad sostenible i un uso racional del automóvil”, al reducir también los desplazamientos de agitación e incrementar la rotación donde no hay parkings subterráneos, “favoreciendo el incremento de la actividad comercial” [15].

### 7.3.4 Marcha a pie

Unos de los grandes atractivos de la ciudad es el hecho de estar construida sobre una superficie prácticamente plana, como su nombre indica. Esta característica no ha sido tomada en cuenta al realizar la planificación de la movilidad urbana hasta hace relativamente poco. En efecto, los sistemas de transporte ligeros, como la bicicleta o la marcha a pie, no disponían de vías



reservadas de circulación propiamente definidas, de aceras de dimensiones adecuadas, ni existían otros servicios que fomentaran su uso.

La marcha a pie se considera un modo de transporte ligero, pero por su relevancia y por jugar un papel principal en la movilidad urbana de las ciudades pequeñas y medias se tratará en solitario. Este modo, frecuentemente olvidado en los estudios de movilidad, es y ha sido siempre un actor clave de la movilidad castellanense con un impacto importante en la movilidad urbana e implica beneficios para la ciudadanía innegables.

Este modo de transporte no necesita de campañas de concienciación por parte de las autoridades pues, en una ciudad como Castellón, esta intrínseco en la cultura popular ciudadana y constituye una alternativa real para los trayectos urbano de corta distancia.

Se desconoce cuál es la parte modo de este modo de transporte, pero por el tamaño de la ciudad y las características de su núcleo urbano principal, debe considerarse uno de los principales junto al transporte publico tradicional y el vehículo privado.

### *7.3.5 Movilidad ligera*

A excepción de la mencionada marcha a pie, este tipo de movilidad fue considerada secundaria en la movilidad urbana y no tenida en cuenta al planificarla. Actualmente, este tipo de movilidad está siendo explotada a la perfección en el viraje hacia el desarrollo sostenible experimentado por la ciudad en los últimos años. No se disponen de datos exactos de la parte modal que esta movilidad representa, pero procedemos a analizar cuantitativamente su presencia en Castellón [15].

#### Bicicas

El servicio de préstamo de bicicletas de Castellón, implantado y mantenido por el propio ayuntamiento, se llama *Bicicas* (Ilustración 45). Constituido como “una red de aparca-bicis automatizados” distribuidos por toda la ciudad, fue todo un éxito desde su lanzamiento, “promocionando entre los ciudadanos el uso de este modo de transporte urbano saludable” [15], “ofreciendo una alternativa al transporte motorizado” para desplazamientos internos y reduciendo con ello las externalidades totales de la



*Ilustración 45: Punto Bicicas en el centro (fuente: Castellón Información)*



movilidad urbana. En un servicio en características y funcionalidad comparable al *Bicing* en Barcelona o *Velib* en París.

Estadísticamente, el servicio ha sido todo un éxito, con 673.834 usuarios en 2011 (Dols y Soriano, 2018) [6], hecho que tuvo un impacto en el uso del transporte público colectivo. En 2012, dejó de ser gratuito, lo que dio lugar a una disminución del 54% de los usuarios. Tras varios años, en 2017 se batió el récord de trayectos realizados con 885.000.

### Carriles bici



Ilustración 46: Nuevo carril bici CS-Almazora (fuente: Cadena Ser)

Como complemento, existe una amplia red de carriles bici que está siendo fuertemente ampliada desde el año 2015, convirtiendo a Castello en la tercera ciudad de España con más kilómetro de carril bici por habitante, según National Geographic [31] y otras fuentes, y solo por detrás de Vitoria y Albacete, primera de este ranking. (Ilustración 46)

### Otros servicios

*Aparcas*, es el servicio de aparcamiento protegido de bicicletas. Existen 16 distribuidos en 4 zonas de la ciudad, en las proximidades de focos de demanda destacados. *Biciregistro*, es un servicio nacional para la identificación de bicicletas. Con el objetivo de fomentar su uso y evitar robos, este sistema permite encontrar la bicicleta en cualquier lugar de España si esta ha sido robada [15]. Existe además una política de subvenciones para la compra de bicicletas y otros.

No existen actualmente otros servicios de préstamos de bicicletas, scooters o patinetes eléctricos en *freefloating*. Tampoco están presentes en la ciudad los servicios de coches en libre servicio ni hay ningún otro servicio de préstamo de vehículos públicos.

### 7.3.6 Tráfico

Con todo lo mencionado anteriormente, procedemos a realizar un breve análisis de la situación del tráfico urbano castellonense.

La ciudad de Castellón, pese a su tasa de motorización, la ausencia de una red de transporte público de calidad y la complejidad de su entramado urbano, no presenta problemas de congestión en prácticamente ninguno de sus ejes cuando estos funcionan en condiciones normales.

Esto se debe en gran parte a la importante parte modal que teóricamente deben representar los trayectos a pie, siendo una ciudad en crecimiento, pero con trayectos internos relativamente cortos todavía, al auge de la movilidad ligera, en constante desarrollo con un aumento considerable en el uso de bicicletas y a la mejora del transporte público colectivo gracias a la implantación del *Tram* y la reforma del bus.

La Ilustración 47, extraída de la web pública *Smartcity Castelló* [32], una web del ayuntamiento que permite un acceso en línea y en tiempo a real a datos prácticos de la ciudad, muestra la circulación en los diferentes ejes en la hora punta de un día laboral. Puede observarse la práctica inexistencia de saturación real. Esta fue lanzada en paralelo a la publicación del *Plan Smart City* (2017) [33].

No debe pues considerarse la saturación de la red urbana como una de las razones para la implantación de un servicio de Transporte a la Demanda.



Ilustración 47: Estado del tráfico un día laboral (fuente: [32])

### 7.3.7 Servicio local de taxi

Como en todas las ciudades españolas, existe en Castellón un servicio de taxi tradicional que puede ser solicitado en la calle o a través de la central de reservas. No se han podido obtener datos exactos sobre el funcionamiento y características de este servicio, por lo que, dado su relativamente bajo impacto en las ciudades medianas, no se considerará en el actual estudio de movilidad.

### 7.3.8 Transporte a la Demanda: Taxicas

Finalmente, mencionar la existencia de un proyecto de Transporte a la Demanda a modo de prueba llamado Taxicas. Desde su lanzamiento por el ayuntamiento el 1 de abril de 2019, la prensa local se hizo eco de su existencia [34] [35], no habiéndose sin embargo beneficiado de fuertes campañas de marketing para darse a conocer entre la ciudadanía.



Este servicio de transporte compartido a la demanda está diseñado para servir las áreas periféricas y tiene un coste de 1.5€ por trayecto. Tiene actualmente “dos rutas con paradas y horarios predefinidos: una dará servicio a las urbanizaciones de la Alcora y la otra a las del camino Serradal”. Las reservas se realizan a través de una aplicación, que puede descargarse en la Google y Apple Store [36], indicando el origen y el destino, pero no dispone de ningún algoritmo de optimización. Las paradas están ordenadas en la ruta, pero únicamente son servidas si se han reservado con al menos una hora de antelación. Las frecuencias de los taxis son de 1h, saliendo de La Farola y Borrull de 7 a 9 y de 13 a 15 y de 18 a 20 de lunes a sábado.

Ilustración 48: Versión iOS de Taxicas (fuente: [36])

Aunque con una aplicación estéticamente agradable y siendo una muy iniciativa loable, es un sistema de TAD muy simple sin optimización de trayectos y con un potencial y escalabilidad limitado. Sus rutas serán consideradas en el presente estudio de implantación como posibles zonas para el servicio que se quiere diseñar.

### 7.3.9 Plan de Movilidad Urbana Sostenible (PMUS)

En este contexto de la movilidad urbana castellanense para la que se ha realizado el análisis descrito anteriormente existe desde el año 2007 el *Plan de Movilidad Urbana Sostenible (PMUS)* [26] [15]. Este plan, realizado por el ayuntamiento en colaboración con otras instituciones, tiene por objetivo “actuar sobre la movilidad urbana para conseguir cambios importantes en el reparto modal, con una mayor participación de los medios más eficientes de transporte, en detrimento del uso del vehículo privado con baja ocupación, y fomentar el uso de modos no consumidores de energía fósil como la marcha a pie y la bicicleta” en palabras del propio ayuntamiento [15].

Este plan engloba al conjunto de la movilidad urbana actual, realizando un análisis de sus principales problemas y estableciendo la estrategia para solucionarlos. Han existido ya dos PMUS en Castellón, uno de 2007 a 2015 y el otro de 2016 a 2024. Puede obtenerse el texto completo del plan vigente en la web del ayuntamiento [15], detallándose a continuación únicamente los análisis y conclusiones principales pertinentes al marco de este proyecto.

Como se ha mencionado, el *Plan de Movilidad Urbana Sostenible* vigente recoge una estrategia para solucionar los problemas de movilidad identificados que “se enmarcará tanto en el futuro *PGOU* como en el *Plan de Movilidad Metropolitana de la Plana de Castellón* de la *Conselleria d’Habitatge*” [26] [21] [27]. El primero ha sido explicado en el análisis de las características urbanas de la ciudad y el segundo se empezó a realizar en 2016 con el objetivo de analizar y dar una respuesta a los problemas de movilidad interurbana de un área metropolitana en fase de creación incluyendo Castelló, Vila-Real, Borriana, Vall d’Uixó, Almassora, Onda, Benicàssim, Nules, Alcora, Oropesa, Betxí, Borriol, Alquerías, Vilavella y Sant Joan de Moró. Los paralelismos en la redacción de estos tres planes y la respuesta conjunta y coordinada a los problemas adecuados es clave para el futuro de la movilidad urbana y la calidad de vida de los ciudadanos. Toda esta estrategia se ha diseñado según los requisitos del programa FEDER de crecimiento sostenible 2014-2020 con el objetivo de ser seleccionada para la cofinanciación [15].

En el PMUS vigente (2016-2024) [26] se realiza un análisis de “la situación del transporte urbano en 2016” (Dols y Soriano, 2018) [6] cuyos puntos principales son los siguientes:

- Se ha producido un descenso absoluto y porcentual de la parte modal del transporte público entre el año de inicio y fin del primer PMUS, siendo utilizado para el 8% de los desplazamientos en 2007 y bajando al 7% en 2016. El descenso más fuerte del número de usuarios se produjo entre 2011 y 2015 “recuperándose la demanda a partir de ese año”.
- La mayor parte de los usuarios del transporte público “pertenecen a la población cautiva: mujeres, jóvenes y mayores de 60”.
- El servicio de transporte público tiene una tasa de puntualidad de 85- 98%.
- La velocidad comercial del servicio es de 14.96 km/h.
- Existen algunas paradas con “problemas de accesibilidad”
- Sigue existiendo una “falta de cobertura de la red urbana en las mismas zonas ya señaladas en el anterior PMUS”.

Estas conclusiones serán aprovechadas para la conclusión global del análisis de movilidad junto a las que obtendremos a partir de los servicios detallados anteriormente.

Año	Usuarios	Variación	Presupuesto (€)	Variación
2008	6 204 035	+4.5%	4 551 258	-
2009	6 245 256	+0.7%	3 842 837	-15.6%
2010	6 184 896	-1%	4 163 172	+8.3%
2011	6 313 345	+2.1%	4 719 281	+13.3%
2012	5 283 294	-16.3%	4 187 991	-11.3%
2013	5 073 825	-4%	4 248 143	+1.4%
2014	5 066 920	-0.1%	4 140 186	-2.5%
2015	5 376 820	+6.1%	4 222 492	+2.5%
2016	5 748 460	+6.9%	4 499 167	+6.5%
2017	6 583 372	+14.5%	5 423 362	+20.5%

*Tabla 9: Usuarios del servicio urbano e inversión pública (fuente: [15], e. propia)*

Como mencionan Dols y Soriano (2018) [6], una aportación interesante del PMUS, es la “constatación que la mejora o empeoramiento de los parámetros del servicio provoca un incremento o reducción del uso del transporte público en un porcentaje mayor al de la modificación del parámetro” [26] [6]. Esta afirmación no puede considerarse una máxima universal de los análisis de movilidad, pero sí es aplicable a Castellón. Puede justificarse analizando la tabla comparativa de la evolución del número de usuarios con respecto al presupuesto, mostrado en la Tabla 9. Como puede observarse, “El recorte económico llevado a cabo en 2011 supuso una reducción presupuestaria del 11%” [6], siendo sin embargo su repercusión en el descenso del número de usuarios porcentualmente superior: 16%. Si miramos el acumulado hasta 2015, el recorte fue del 12% y el descenso del número de usuarios del 20%. Se confirma pues la “afirmación contenida en el estudio del PMUS que el abandono del desuso de transporte público por parte de los usuarios se realiza en un porcentaje mayor al de empeoramiento del servicio” [6]. Este mismo estudio afirma igualmente que “la mejora de los parámetros del servicio no supone una inmediata recuperación”. Desde 2015 se ha incrementado el presupuesto progresivamente siendo “el incremento presupuestario acumulado del 29% y el de viajeros del 28%” [6]. Se concluye pues que el “aumento de la inversión pública provoca a medio plaza un incremento de usuarios porcentualmente similar, mientras que el caso contrario el descenso de viajeros es superior al de la inversión”. Todo ello, siempre y cuando “inversión este bien enfocada y suponga una clara mejora de los parámetros básicos (horarios, cobertura y frecuencia)” [6].

Además del análisis anteriormente resumido, el PMUS [26] propone una estrategia para potenciar el transporte colectivo consistente en una lista de acciones a realizar en la red “que permitan ampliar la cobertura y mejorar la frecuencia” [6]. Esta estrategia se estructuró en dos fases: una primera de reestructuración y una segunda de optimización.

- La primera se inició en 2016 y están completadas [26]. Son las mejoras del PMUS anteriormente mencionadas y que tuvieron un impacto directo en el crecimiento del número de usuarios impulsando la recuperación de la red de transporte público junto a la inauguración del *Tram*. Entre estas medidas destacan la modificación completa del trazado de la L7, sirviendo ahora las urbanizaciones de montaña y la recuperación de la L9, que sigue siendo paralela al *Tram* pero que fue desviada para servir barrios que quedaron descubiertos tras su supresión. También se creó una segunda línea circular en sentido inverso a la L8, la actual L18 y se implantó el servicio nocturno de bus tras su éxito en las festividades locales.
- La segunda fase es la de potenciación y se desarrollará hasta 2020 [26]. Entre las medidas de esta fase, destaca “la generalización de la frecuencia a 20 minutos y el aumento de la flota hasta los 42 vehículos” y la apuesta clara de incluir transbordos en los trayectos urbano, una práctica poco frecuente en Castellón y solo aplicable si se bajan las frecuencias, con la creación de intercambiadores como el de la Plaza de la independencia al crear una parada del *Tram*.

Remarcar que el PMUS [26], que no hace mención a los modos de transporte dinámicos, incluye también el concepto de *Smart City*. En este sentido, y como se ha comentado antes, el ayuntamiento ha diseñado una web pública de información al ciudadano [32] que permite conocer en tiempo real tanto el estado del tráfico como la localización de los diferentes servicios, líneas de bus, parkings, paradas de taxi, señalizaciones y tiempos de trayecto entre otros, todo esto sobre una cartografía de la ciudad. Esta web va acompañada del llamado *Plan Smart City* [33].



Ilustración 49: Logotipo Smart City (fuente: [15])

El PMUS, según Dols y Soriano (2018) [6], permite ser optimistas con “las perspectivas de futuro para el transporte urbano y metropolitano” si se observan la partida presupuestaria de 4.3 M destinada a la fase de potenciación hasta 2020. Asimismo, con la nueva normativa concesional de la *Comunitat Valenciana*, la línea del Grau, la única urbana gestionada como si fuera interurbana pasará seguramente a “asimilarse en la red urbana municipal simplificando su gestión, al eliminar los actuales trámites entre administraciones” [6]. Aun con todo esto, Castellón tiene todavía importantes problemas de movilidad urbana como se verá en las conclusiones globales del análisis de movilidad lo que hace necesario la implantación de medidas correctivas análogas no incluidas en el PMUS, como el TAD [26].



## 7.4 Conclusiones globales del análisis

Procedemos ahora a enumerar las diferentes conclusiones globales que pueden obtenerse del análisis socioeconómico, demográfico, urbanístico y de movilidad que se ha realizado para la ciudad de Castellón. Estas conclusiones serán utilizadas posteriormente para definir las características de diseño del servicio de TAD.

- A pesar de estar en proceso de envejecimiento, Castellón se caracteriza por tener una población relativamente joven con una edad media de 45 años.
- El número de empresas sigue aumentando, con la mayoría localizadas en los alrededores de la ciudad y haciendo por lo tanto aumentar la migración pendular.
- Las arcas municipales tienen balances anuales positivos con un beneficio de 1.7M en 2017 tras los ajustes y reducción de deuda realizados durante la crisis.
- Los impuestos llevan subiendo constantemente desde 2007 con el objetivo de sanear las cuentas y poden acometer inversiones sin endeudamiento.
- La densidad urbana del municipio no es homogénea estando formado por múltiples núcleos de población diseminados alrededor del casco urbano.
- La densidad varía también por el tipo de edificación empleado en cada zona.
- La planicie sobre la cual está edificada la ciudad invita al uso de movilidad ligera para los desplazamientos de corta y media distancia.
- El entramado urbano, complejo y mal planificado, dificulta la implantación eficiente de líneas de transporte de masas, condicionando el bus público.
- La demanda se concentra en 4 puntos principales, siendo muy diseminada e irregular en el resto del municipio por sus características urbanas.
- El fuerte crecimiento demográfico ha ido acompañado de un rápido crecimiento urbano al cual el transporte público no ha podido adaptarse.
- La dispersión y descentralización de servicios, así como la creación de nuevas dotaciones en las afueras han hecho aumentar el uso del vehículo privado.
- El transporte público es mayoritariamente utilizado por la población cautiva, no abarcando pues a otros potenciales usuarios y no siendo un servicio global.
- La marcha a pie y el vehículo privado son los modos principales de la movilidad urbana al haber podido adaptarse fácilmente a los cambios drásticos.
- La política de estacionamiento ha estado perfectamente definida, faltando más políticas de restricción de la circulación en ciertas zonas de la ciudad.
- La apuesta por la movilidad ligera es adecuada siendo una solución para muchos de los problemas de movilidad, no pudiendo cubrir todas las necesidades.

- La ciudad no presenta problemas de congestión ni ejes saturados. Esto podría sin embargo cambiar en los próximos años sino se buscan soluciones de movilidad.
- La red actual es el resultado de un añadido de líneas progresivo sin una planificación global careciendo de cohesión y siendo poco eficiente.
- Es una red densa (18 líneas) pero mal distribuida encontrando buses de gran tamaño circulando por el centro y múltiples zonas sin cobertura de transporte.
- La red presenta muchas duplicidades y saturación en ciertas calles y avenidas, con hasta 5 líneas circulando por Plaza Clave y Puerta del Sol (zona centro).
- La red ha sido diseñada para servir los 4 puntos principales y para adaptarse localmente al crecimiento urbano sin analizar la movilidad interna global.
- Ciertas reestructuraciones parciales, nunca globales, han tenido impactos negativos en una red que ha sido víctima de los recortes por la crisis.
- Únicamente 5 de las líneas tienen un número de usuarios aceptable, habiendo sido la mayoría de las nuevas creadas para garantizar la cobertura del territorio.
- Existen tres empresas de transporte público en la ciudad lo que dificulta la coordinación ante la inexistencia del rol de la autoridad del transporte.
- El *Tram* fue un éxito y un impulso para el transporte, sin embargo, la crisis económica impidió el desarrollo de este modo y la creación de nuevas líneas.
- El éxito de *Tram* demuestra la importancia y los beneficios relativos de realizar proyectos populares y de impacto social al buscar la mejora de la movilidad.
- El servicio de bus tuvo que adaptarse al *Tram* y vio reducido el número de pasajeros al suprimirse líneas, aun cuando el total de ambos servicios aumentó.
- La cultura de movilidad no se corresponde con el tamaño de la ciudad: las distancias de acceso han de ser cortas y los trayectos sin transbordos.
- Las políticas locales no están impulsando un cambio de mentalidad que permita mejorar la movilidad aumentando frecuencias para aumentar transbordos.
- Las tarifas, la integración tarifaria y la tarjeta Mobilis son apuestas correctas, faltando únicamente un mayor abanico con abonos trimestrales y anuales.
- La creación de la marca TUCS y del servicio nocturno son dos pasos clave en la modernización faltando todavía más velocidad comercial y frecuencia.
- El PMUS, PGE y POD apuestan por una movilidad y una estructura de ciudad urbana sostenible e inteligente, invitando a proyectos innovadoras.



## 7.5 El TAD como solución para Castellón

Del análisis completo realizado y basándonos en las conclusiones extraídas puede afirmarse que todas las razones y motivaciones presentadas al inicio del proyecto y que han llevado a apostar por el TAD en la mejora de la movilidad urbana, sujeto central de este proyecto, se justifican y son aplicables al caso particular de la ciudad de Castellón. Se propone pues la implantación de un servicio de Transporte a la Demanda llamado *Flexicas* para la mejora de la movilidad urbana castellonense. Este modo de transporte complementará en algunos casos y sustituirá en otros al sistema de transporte público actual descrito en el análisis de movilidad.

Además de las motivaciones generales para apostar por el TAD como solución, hay varios elementos propios a la ciudad de Castellón que justifican esta elección y que se describen a continuación previo diseño del servicio a implantar.

- El ayuntamiento lanzó en abril de 2019 el servicio *Taxicas*, un primer TAD, que, aun siendo poco ambicioso en su implantación, supone un importante primer paso.
- Solo 5 de las líneas son realmente eficientes, conservándose el resto principalmente para asegurar la cobertura del término. Castellón necesita una alternativa como el TAD para acometer una reestructuración inteligente de la red fija. Este remplazará (por ejemplo, L7 y L9) o complementará (extremos de L1 y L2) a las líneas tradicionales menos usadas y que presentan mayores ineficiencias.
- La ciudad presenta numerosos grupos y urbanizaciones separados del núcleo principal e importantes gradientes de demanda espaciales y temporales. Un TAD, por su flexibilidad, se adaptará mejor a estas circunstancias que una red fija.
- La complejidad urbanística que caracteriza a Castellón implica la existencia de pocos ejes urbanos para la circulación de autobuses de gran tamaño. Un servicio TAD con un número mayor de vehículos pequeños se adaptará mejor.
- Actualmente no hay problemas de tráfico, pero podrían aparecer en unos años al no existir ningún servicio capaz de competir con el vehículo privado. El TAD entra en concurrencia directa con este modo limitando su crecimiento.
- Los usuarios del transporte público son principalmente personas mayores y jóvenes, población cautiva. El TAD puede aumentar la masa y tipo de usuarios.
- La apuesta por el desarrollo de carriles bici es interesante pero insuficiente. La movilidad ligera no es apta para todos los trayectos y el TAD la completaría.
- Castellón es una ciudad media con mentalidad de ciudad pequeña en términos de movilidad. Ante la falta de una política local que fomente este cambio de mentalidad, el TAD supone un impulso a prácticas extendidas como el transbordo.

- Los avances tecnológicos que aporta el TAD van en la línea del SEA implantado en los últimos años en muchas paradas para informar en tiempo real a los usuarios.
- La marca TUCS y la integración tarifaria son positivas para TAD. Además, el PMUS contempla mejoras sustanciales de la movilidad, apostando por los transbordos, por la mejora de frecuencias y el aumento de la eficiencia del sistema.
- El transporte público no se ha recuperado todavía de los recortes y reestructuración que sufrió por la crisis. El TAD ofrece al ayuntamiento una nueva y barata alternativa para volver al nivel de servicio anterior a la crisis.
- El ayuntamiento dispone de un presupuesto lo bastante elevado para para asumir esta inversión, que no afectaría a las políticas de control de gasto. Los beneficios de este modo son cualitativamente mayores que sus costes de implantación y evitan invertir grandes sumas en nuevas líneas del *Tram* y en líneas de bus con muy baja utilización y cuestionables como servicio público de calidad.
- Un nuevo TAD de altas prestaciones sería un proyecto clave para la ciudad que permitiría dar un nuevo impulso al transporte público y su popularización como supuso en su momento la apertura del *Tram* y que demostró los beneficios de apostar por proyectos ambiciosos, asumiendo ciertos riesgos, pero garantizando un impacto positivo que va más allá de los cálculos teóricos.

## 7.6 Propuesta de modificación de la red fija

Tras el análisis realizado y las conclusiones extraídas y tras haber justificado debidamente porque el TAD es un servicio que puede mejorar la movilidad urbana procedemos a su implantación. Para ello antes de elegir las áreas potenciales, procedemos a realizar una propuesta de reestructuración de la red tradicional. En efecto, y como se ha mencionado, el TAD complementará y remplazará al servicio de bus urbano cuando sea necesario, pero la mejora de la movilidad no dependerá únicamente de esta implantación sino de como sea integrado el nuevo servicio. Sin embargo, antes de implantarlo es necesario reestructurar las líneas fijas para corregir ineficiencias, darle cabida y evitar duplicidades.

La propuesta de reestructuración ha sido realizada en base a los objetivos siguientes:

- Reducir la masificación general de la red con el objetivo de 10 líneas fijas, corrigiendo la duplicidad de líneas y evitando la saturación de los ejes urbanos.
- Aumentar la coherencia global de la red en la medida de lo posible, suprimiendo las líneas ineficientes para su posterior sustitución por TAD.

- Reducir las líneas y buses de gran capacidad circulando por el caso histórico: 5 líneas por la Plaza clave (L3, L5, L9, L11 y L17), 5 por la Puerta del Sol (L4, L6, L9, L17 y T1), y la línea 1 recorriendo la calle Mayor de extremo a extremo.
- Servir a la movilidad general y no solo a los centros de atracción de demanda fomentando los transbordos y dando un mejor servicio a la ciudadanía.

En la Ilustración 50 se observa un detalle de la red en el casco histórico que permite apreciar los puntos antes mencionados.



*Ilustración 50: Detalle de la red en el centro histórico (fuente: [15] [28])*

Procedemos ahora a explicar cómo afectará la reestructuración a cada una de las líneas:

- *La línea T1 del Tram* no se verá afectada por la reforma. Necesita sin embargo reforzar los intercambiadores con las demás líneas fomentando los transbordos.
- *Conexiones del Grau (ETS y CS-GR)*: son dos líneas razonables, pero con demanda intermitente. Por ello, se propone crear un servicio de TAD desde la Rotonda Centenari, actual terminus del *Tram* y que pasaría a serlo también del CS-GR. Se suprime el ETS cuyo servicio será garantizado por el TAD.
- *Línea 1 (N-S por centro-este, Hospital-Poliesportiu)*: se saca de la calle Mayor con una nueva vía reservada sentido norte en la Calle Gobernador, entre la Plaza Borrull y Maria Agustina, donde hay 3 carriles hacia el sur. Cuando solo hay 2, utilizaría la vía del *Tram* con coordinación semafórica para los dos sentidos.
- *Línea 2 (N-S por centro-oeste, Hospital-Poliesportiu)*: la única modificación está en la zona sur. Pasa a usar el recorrido de la L7, que es suprimida, desde el parque del Oeste

- hasta el Poliesporitu. Se creará un TAD-Sur para conectar las líneas 1, 2 y 15 con toda la zona sur, por lo que no sigue hasta Lourdes.
- *Línea 3 (E-O por norte, H.Magdalena-Lledó)*: Se fusiona con la 13, asumiendo su trayecto en los dos sentidos hasta Pintor Oliet desde donde mantiene el actual. Sirve así también el nuevo y el viejo cementerio entrando en el H. Magdalena. En el oeste, toma el recorrido de la L5 desde Tombatosals. Deja de servir los grupos de la zona del hospital, cubiertos por el TAD Noroeste.
  - *Línea 4 (E-O por sur, Museo-Ciudad Transporte)*: En este, se mantiene igual y sirve de conexión con el TAD sureste. En el extremo y sentido oeste, tras parar en La Salera entra en San Lorenzo, después va al CEU y cruza el polígono hasta la nueva rotonda de EstePark. Conecta con TAD suroeste y TAD oeste.
  - *Línea 5 (E-Centro, Lledo-Plaza de toros)*: Se fusiona con la L11, que es suprimida y con la 6. En el oeste, se mantiene hasta Tombatossals, sigue el recorrido de la L3 hasta el auditorio, va al Recinto de Ferias, volviendo por la Ciudad de la Justicia y Rafalafena. En su terminus centro se fusiona con la 6.
  - *Línea 6 (O-Centro, Carretera Alcora-Plaza Paz)*: Deja de entrar por la Puerta del Sol y la Plaza La Paz para liberar el centro. En la Ronda Mijares y la Plaza de Toros se une a la L5, que termina allí. En el extremo Oeste puede remplazarse por el TAD Alcora desde la Quadra els Cubs acortándose la línea.
  - *Línea 7 (N-S por centro-oeste, Grupos del Norte- Grupos del Sur)*: Es demasiado similar a la línea 2 por lo que se propone su supresión completa. El tramo de Gran Via será asumido por la nueva 2. Los grupos del sur ya están servidos por el TAD sur y los del norte podrían por un TAD hospital-montaña.
  - *Línea 8 (Circular horario)*: el trazado es correcto se modifica solo la zona suroeste. Al llegar al polideportivo continua hasta Salera y sigue el recorrido de la L10 hasta la UJI, donde vuelve al original. Es una línea que comunica todos los TAD. La L9 es una circular pequeña en el mismo sentido.
  - *Línea 9 (E-O, Castellón centro-Estación de Tren)*: se saca del casco histórico y pasa a seguir el trazado de la ronda centro y algunos tramos de la L11 y la L17, suprimidas. En Borrull gira por Hns. Bou, llegando al Recinto de ferias por el trazado de la L17, volviendo por Av. del Mar y siguiendo por la ronda centro. La zona de cruz Roja estando cubierta por TAD sureste. Cuando llega a la Plaza de toros sigue su trayecto antiguo. En la estación sigue el trazado de la L11 hasta la Ronda Magdalena, donde vuelve a tomar la Ronda Centro hasta Borrull.
  - *Línea 10 (N-S por el oeste, SALERA-UJI-HOSPITAL-TETUAN)*: es una línea demasiado larga. El extremo sur es asumido por las nuevas circulares, siendo la UJI su nuevo terminus. Por ligeras duplicidades podría suprimirse, pero conectando dos focos muy

importantes de demanda no es viable. Se modifica el terminus norte para entrar en los grupos que ya no tienen la L7 y la L3 y para conectar con el TAD montaña y con el TAD noroeste. Es simétrica a la L15.

- *Línea 11 (E-O, UJI- Rafalafena)*: La línea 5 asume parte de su ruta y se elimina el resto. En el extremo oeste puede remplazarse por el TAD noroeste también.
- *Línea 12 (E-O por sur, UJI-Comisaria)*: bien diseñada y cubriendo trayectos poco frecuentes. El terminus sur es implicado y completado con el TAD sureste.
- *Línea 13 (O-Centro, Nuevo Cementerio-Plaza de Toros)*: La línea 3 asume parte de su ruta y se elimina el resto para evitar duplicidades con otras líneas.
- *Línea 14*: No existe, es la antigua línea complementaria al *Tram*.
- *Línea 15 (O-S, UJI-Poliesportiu)*: No sufre ninguna modificación importante. Únicamente en el terminus sur, que pasa a estar en la rotonda con la Avenida Casalduch. Conecta igualmente con el TAD-Sur.
- *Línea 16 (N-S, Hospital-Centros Comerciales)*: no precisa modificación alguna.
- *Línea 17 (E-Centro, Recinto Ferias- Farola)*: pasa por el casco histórico y ofrece el mismo servicio que la nueva L5, L9 y el *Tram*. Se suprime esta línea.
- *Línea 18 (circular antihoraria)*: sigue el mismo recorrido que la L8 pero en el sentido contrario, Se modifica únicamente la zona sureste, pasando por el antiguo tramo de la L10 y con una parada en Estepark.
- *Línea nocturna N1*: sigue el mismo recorrido que la L1 durante el día. El servicio de bus nocturno puede ser asumido de manera más eficiente por el TAD, por lo que esta línea es suprimida y transformada en una red flexible.

La reestructuración afecta a todas las líneas a excepción de la T1, L12 y L16. Se ha propuesto suprimir 5 líneas urbanas (L7, L11, L13, L17 y N1) cuyos trayectos han sido asumidos, se han fusionado dos (L5 y L6) y se ha reemplazado la lanzadera (ETS). La red de líneas fijas queda en 12 urbanas, la T1 del *Tram* y la CS-GR. El resto de la cobertura será asegurado por un servicio de TAD que procedemos a diseñar.

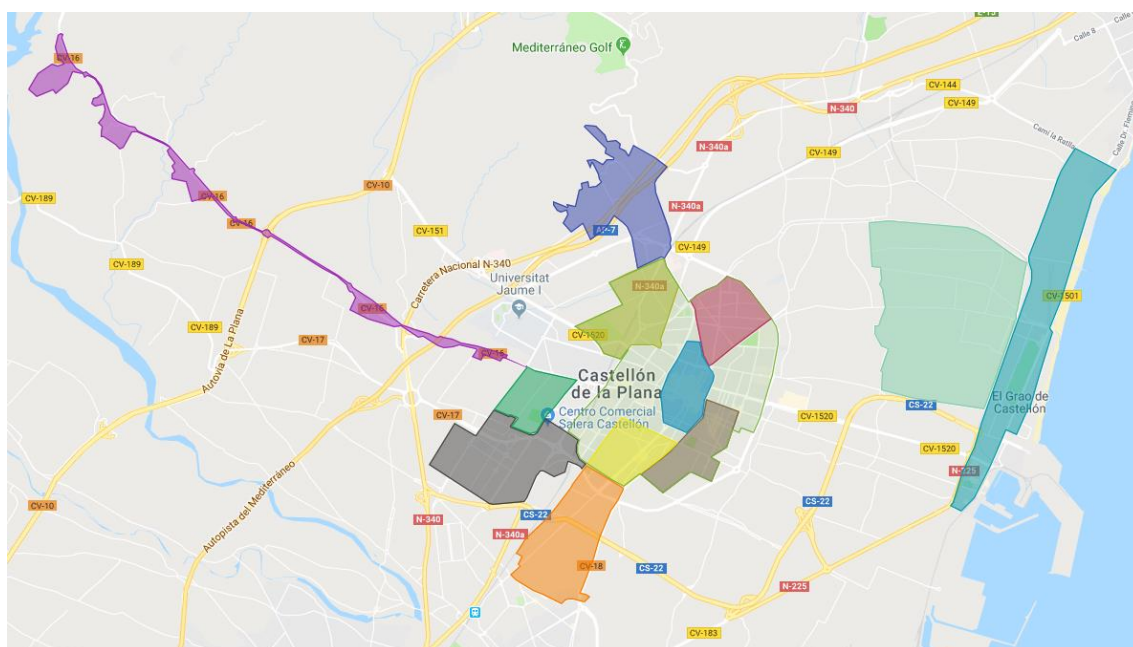
## 7.7 Características del servicio de TAD a implantar

Procedemos ahora a plantear las diferentes alternativas de diseño del servicio de Transporte a la Demanda para la mejora de la movilidad de Castellón. Se expondrán a continuación las zonas potenciales de implantación, obtenidas como resultado del análisis de la ciudad antes realizado, estructuradas en tres configuraciones alternativas.

Tras definir las características de cada una de las zonas, se aplicará el modelo de implantación anteriormente definido y detallado para cada enfoque y configuración con el objetivo de determinar cuál se adapta mejor a las necesidades del territorio. Las zonas, configuraciones, enfoques, valores aceptables y demás elementos que aquí se presentan definen las características del modelo de implantación que se va a utilizar y constituyen el diseño del TAD que se quiere probar para la ciudad a partir el diagnóstico hecho.

### 7.7.1 Zonas potenciales de implantación

El diagnóstico de las características urbanas, demográficas y de movilidad de la ciudad de Castellón ha sacado a la luz las carencias de la red de transporte colectivo urbano. Las conclusiones extraídas han dado lugar a una reestructuración de la red con el objetivo de dar cabida al nuevo servicio de Transporte a la Demanda.



*Ilustración 51: Zonas potenciales identificadas para el TAD (fuente: elaboración propia)*

La Ilustración 51 [25], muestra las zonas potenciales identificadas para la implantación del TAD. Estas son:

- **ZONA 1 (Grau-Pirulí):** se ha suprimido la ETS y recortado la CS-GRAU por ser esta zona costera de demanda irregular y mal conectada a los servicios ideal para un TAD. Está delimitada por el Serradal, el paseo marítimo, la plaza del Mar en el Grau y el límite del término. Está servida actualmente por el Taxicas.
- **ZONA 2 (Marjaleria):** incluye toda esta zona irregular de muy baja densidad. Es una zona sin flujos de demanda claros ni servicios que necesita de una cobertura.

- *ZONA 3 (centro histórico)*: tras sacar las líneas del centro, un TAD conectaría con las que lo rodean y la pocas que lo cruzan (L4, T1 y L3). Está delimitada por la ronda centro. Sería un servicio únicamente para personas con problemas de movilidad al tratarse de una zona peatonal y de pequeñas dimensiones.
- *ZONA 4 (Hnos. Bou- ronda sur)*: zona alargada, desde la L9 y L4 hasta la nueva zona urbana entre Casalduch y la ronda, delimitada por esta avenida y por Ferran el católic. Esta zona no está bien conectada para trayectos norte-sur debido principalmente a su baja densidad por estar todavía en fase de desarrollo.
- *ZONA 5 (Centro-Sur)*: desde la ronda de barris hasta la ronda sur, desde Gran Vía a Casalduch. Zona muy céntrica, bien comunicada N-S pero mal para los trayectos Este-Oeste. Al tratarse de una zona pequeña serviría solo a la demanda cautiva.
- *ZONA 6 (Poliesportiu-Sur)*: la zona entre los terminus de la L1, L2 y L15 en el Poliesportiu y la rotonda de Casalcuch y el sur del término está mal conectada. Es una zona periférica de densidad irregular con polígonos y grupos separados por zonas agrícolas. Está delimitada por la carretera de Almazora y la línea de FFCC.
- *ZONA 7 (Ciudad del transporte)*: no existe ninguna línea fija que permita desplazarse por el interior de este gran polígono comercial. Conectando con los terminus de la L4, L16, L1, L2 y las circulares, esta gran zona incluiría también los centros comerciales Salera, Estepark y el grupo San lorenzo.
- *ZONA 8 (Carretera Alcora – ronda sur)*: situada entre la UJI y Salera, esta zona incluye todos los grupos hasta la *Quadra els Cubs*. Formada por un entramado urbano irregular, esta zona, que conecta con las circulares, está mal cubierta.
- *ZONA 9 (Carretera Alcora)*: es una zona muy larga y de demanda irregular cubierta actualmente por las bajas frecuencias de la L6 que pasará a tener su terminus en la rotonda Quadra els Cubs. Sigue la carretera de la Alcora hasta el límite del término. Es junto a la del Grau una de las zonas incluidas en *Taxicas*.
- *ZONA 10 (Norte-Centro)*: está delimitada por la carretera de Borriol, el hospital, la calle Joaquín Costa y los grupos del norte. Esta zona heterogénea y de baja densidad esta internamente mal conectada obligando a la L3 a desviarse de forma ilógica para asumir una demanda irregular. Es óptima para un pequeño TAD.
- *ZONA 11 (Montañas)*: es junto a la de la carrera de la Alcora y la del Grau la zona con más potencial para un TAD. Tras suprimir la L7, cuya única función era subir a las montañas, un servicio flexible serviría esta zona de demanda irregular.
- *ZONA 12 (Centro-Lledó)*: es una nueva zona urbana de baja densidad todavía en desarrollo y edificaciones unifamiliares que no está cubierta por ninguna línea fija en su interior. Está delimitada por la ronda norte y la ronda centro.

- *ZONA 13 (Intrarondas)*: esta zona incluye todo el núcleo principal de Castellón, descrito y delimitado anteriormente. Permitiría la implantación de un TAD de gran escala tanto para un servicio diurno como sobre todo para uno nocturno.

### 7.7.2 Enfoques

Antes de definir las configuraciones para las que se desea aplicar el modelo, debe escogerse que enfoque quiere darse a la implantación del Transporte a la Demanda.

En nuestro caso, se ha decidido aplicar los dos enfoques descritos con el objetivo de obtener una configuración óptima y otra adaptada a las limitaciones del operador. Esto permitirá validar ambos enfoques en un caso aplicado real y realizar una comparación más aprovechable comparando diseños optimizados y predefinidos. Estos son:

- *Enfoque A*: consistirá en una optimización pura, donde los inputs modelos vendrán dados por las zonas y donde los intervalos, separación de paradas y tiempo de espera son características del diseño óptimo que se obtiene.
- *Enfoque B*: los intervalos, tiempos de espera y separación de paradas están predefinidos por el operador, condicionando el diseño. La Tabla 10 muestra estos valores:

		A	B	C
Distancia entre paradas (modalidad A)	s (km)	0.075		
Intervalo de paso (modalidades A y B)	H (horas)	0.167	0.167	
Tiempo de espera (modalidad C)	To (horas)			0.042

Tabla 10: Variables de planificación INPUT (fuente: elaboración propia)

Los dos enfoques usarán las mismas configuraciones y variables dadas a continuación.

### 7.7.3 Configuraciones

Las zonas potenciales de implantación anteriormente identificadas son ahora consolidadas en mayor o menor grado para dar lugar tras un proceso de estructuración a cada una de las configuraciones para las que se aplicará el modelo.

Como se ha mencionado en el desarrollo del modelo, este proceso debe estar precedido por la modelización necesaria para que las zonas anteriormente descritas, basadas en el Castellón real, puedan ser utilizadas por el modelo. Así pues, las zonas y parámetros que a continuación se indican y que constituyen los inputs del modelo, corresponden a modelos teóricos fruto de una

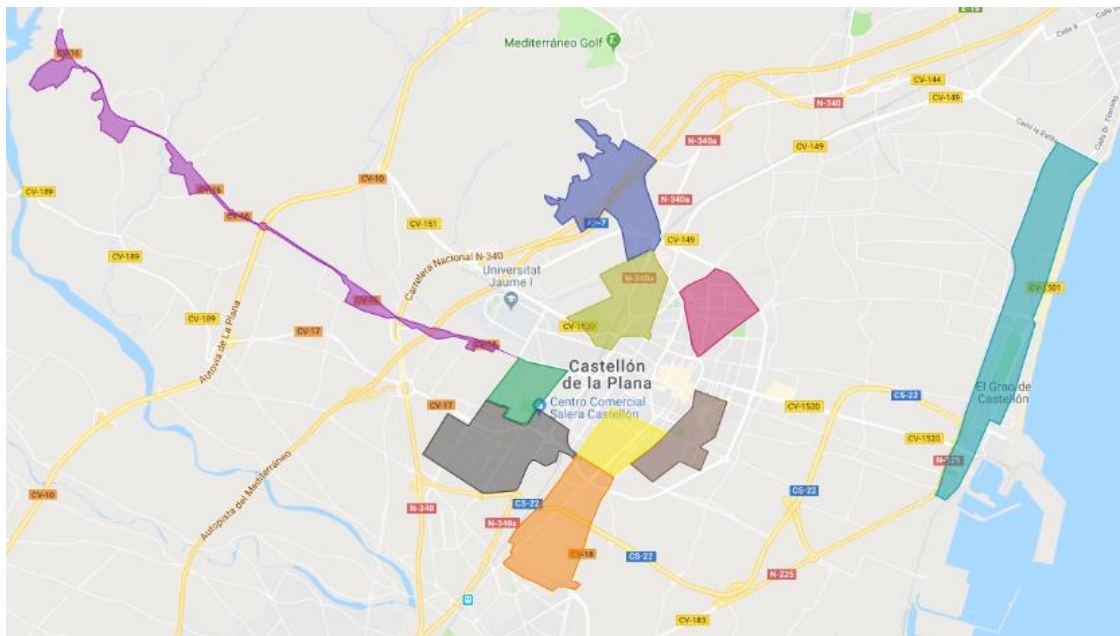


modelización de la realidad. La mayor o menor complejidad de este proceso dependerá de la zona y condicionará la presión del modelo.

Se plantean a continuación un total de 3 configuraciones que serán debidamente descritas. Para cada configuración se presentan las zonas de que está compuesta, así como los parámetros característicos a introducir en el modelo. Estas mismas configuraciones serán utilizadas para los dos enfoques definidos antes.

### Configuración 1

Para la primera de las configuraciones, las zonas potenciales son directamente utilizadas sin ningún tipo de consolidación. Esto da lugar a un diseño con numerosas zonas. En nuestro caso, se incluirán todas las zonas potenciales descritas a excepción de las zonas 2, 3 y 13 que se han descartado durante la modelización por varias razones: el entramado semiurbano de la zona 2 es demasiado irregular y heterogéneo para ser modelizado y no pueden aplicarse correctamente las formulaciones, la zona 3 corresponde al centro urbano, difícil de modelizar por su irregularidad y donde el TAD entraría en competencia directa con la marcha a pie, modo de transporte que se desea potenciar siempre que sea posible, y la zona 13 sería una configuración en sí misma al abarcar toda la ciudad (Ilustración 52).



*Ilustración 52 : Zonas TAD configuración 1 (fuente: elaboración propia)*

En las Tabla 11 y 12 se resumen todos los servicios o zonas TAD que componen esta configuración, nombrándolos según su localización en el término o su posición geográfica con respecto al núcleo principal. Así pues, el TAD Maritim incluye la zona 1, El TAD Sureste incluye

la zona 4, el TAD Sur la zona 5, el TAD Almazora la zona 6, el TAD Suroeste la zona 7, el TAD Oeste la 8, el TAD Alcora la 9, el TAD Noroeste la 10, el TAD Penyeta la 11 y el TAD Noreste la 12. Se indican igualmente los valores de las variables que caracterizan cada una de estas zonas.

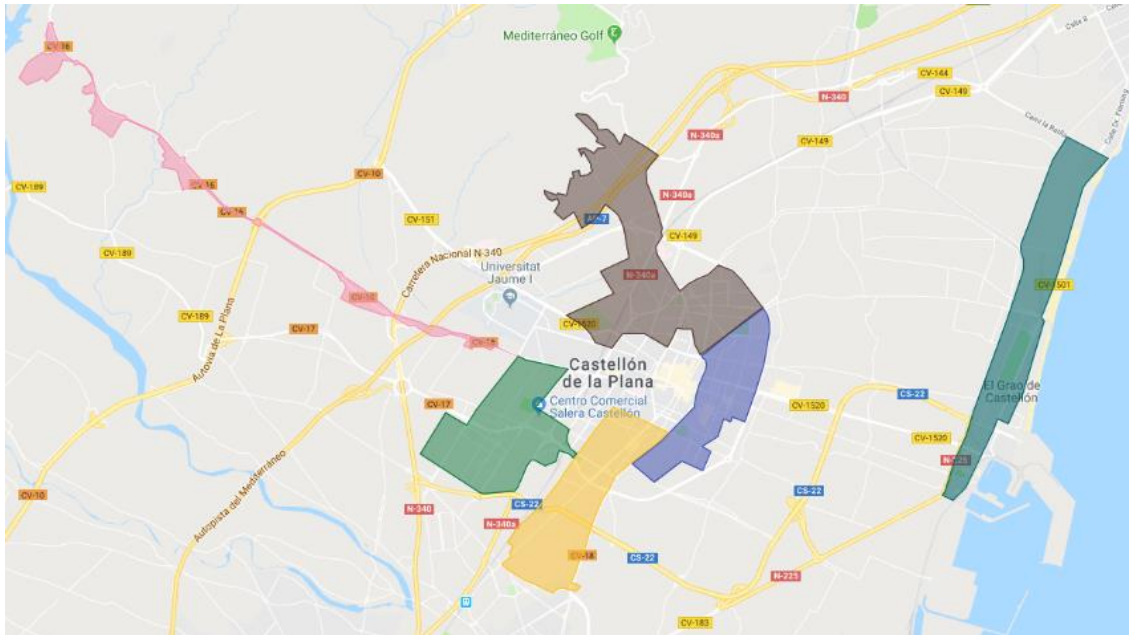
<b>Zonas Conf. 1</b>		<b>TAD Marítimo</b>	<b>TAD Sureste</b>	<b>TAD Sur</b>	<b>TAD Almazora</b>	<b>TAD Suroeste</b>
<b>Z. potenciales</b>		<b>ZONA 1</b>	<b>ZONA 4</b>	<b>ZONA 5</b>	<b>ZONA 6</b>	<b>ZONA 7</b>
Distancia media de trayecto	l(km)	2.875	1	0.5	1.5	1.3
Longitud de la zona	L(km)	5.75	1.75	0.95	2.1	2
Ancho de la zona	W(km)	0.45	0.5	0.8	0.9	0.9
Densidad de demanda	$\lambda_d$ (pax/km <sup>2</sup> -h)	15	15	15	15	15
Capacidad de los vehículos	C (pax)	8	8	8	8	8
Velocidad de cruce	v (km/h)	50	45	30	55	45
Aceleración	a (m/s <sup>2</sup> )	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
Tiempo de subida y bajada por pasajero	$\tau'$ (s/pax)	5	5	5	5	5
Velocidad a pie	vw (km/h)	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
Varianza del intervalo	s <sup>2</sup> H (h <sup>2</sup> )	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
Coste unitario por km (c. variable en A y B)	cd (€/veh-km)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Coste unitario por hora (coste fijo en A y B)	ct (€/veh-h)	30	30	30	30	30
Tarifa (modalidad A y B)	$\theta$ (€/trayecto)	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
Valor del tiempo	$\beta t$ (€/pax-h)	8	8	8	8	8
Penalización equivalente por transbordo	P (km)	0	0	0	0	0
Peso percibido del tiempo de acceso	wA (-)	1	1	1	1	1
Peso percibido del tiempo de espera	wW (-)	1	1	1	1	1
Peso percibido del tiempo de trayecto	wT (-)	1	1	1	1	1
Peso percibido del tiempo de transbordo	wt (-)	1	1	1	1	1
Intervalo mínimo	Hm (min)	5	5	5	5	5
Separación media entre calles	$\Delta s$ (km)	0.175	0.125	0.1	0.2	0.2
Tarifa unitaria por km (modalidad C)	$\theta_{km}$ (€/veh-km)	1	1	1	1	1
Bajada de bandera (modalidad C)	$\Phi$ (€/trip)	0	0	0	0	0
Coste unitario por km (coste variable en C)	cd (€/veh-km)	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Coste unitario por hora (coste fijo en C)	ct (€/veh-h)	20	20	20	20	20
Tiempo de pago en el vehículo (en C)	t $\theta$ (seg/trayecto)	25	25	25	25	25
Tiempo de asignación de trayectos (en C)	ta (seg/trayecto)	25	25	25	25	25

Tabla 11: INPUTS configuración 1 (fuente: elaboración propia)

		TAD Oeste	TAD Alcora	TAD Noroeste	TAD Penyeta	TAD Noreste
<b>Zonas Conf. 1</b>						
<b>Z. potenciales</b>		<b>ZONA 8</b>	<b>ZONA 9</b>	<b>ZONA 10</b>	<b>ZONA 11</b>	<b>ZONA 12</b>
Distancia media de trayecto	l(km)	0.5	5.5	0.75	1.3	0.9
Longitud de la zona	L(km)	0.9	8.75	1.3	1.6	1.4
Ancho de la zona	W(km)	0.7	0.15	1	1	0.7
Densidad de demanda	$\lambda_d$ (pax/km <sup>2</sup> -h)	15	15	15	15	15
Capacidad de los vehículos	C (pax)	8	8	8	8	8
Velocidad de cruce	v (km/h)	30	55	40	40	35
Aceleración	a (m/s <sup>2</sup> )	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
Tiempo de subida y bajada por pasajero	$\tau'$ (s/pax)	5	5	5	5	5
Velocidad a pie	vw (km/h)	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
Varianza del intervalo	s <sup>2</sup> H (h <sup>2</sup> )	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
Coste unitario por km (c. variable en A y B)	cd (€/veh-km)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Coste unitario por hora (coste fijo en A y B)	ct (€/veh-h)	30	30	30	30	30
Tarifa (modalidad A y B)	$\theta$ (€/trayecto)	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
Valor del tiempo	$\beta t$ (€/pax-h)	8	8	8	8	8
Penalización equivalente por transbordo	P (km)	0	0	0	0	0
Peso percibido del tiempo de acceso	wA (-)	1	1	1	1	1
Peso percibido del tiempo de espera	wW (-)	1	1	1	1	1
Peso percibido del tiempo de trayecto	wT (-)	1	1	1	1	1
Peso percibido del tiempo de transbordo	wt (-)	1	1	1	1	1
Intervalo mínimo	Hm (min)	5	5	5	5	5
Separación media entre calles	$\Delta s$ (km)	0.175	0.3	0.125	0.25	0.1
Tarifa unitaria por km (modalidad C)	$\theta_{km}$ (€/veh-km)	1	1	1	1	1
Bajada de bandera (modalidad C)	$\Phi$ (€/trip)	0	0	0	0	0
Coste unitario por km (coste variable en C)	cd (€/veh-km)	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Coste unitario por hora (coste fijo en C)	ct (€/veh-h)	20	20	20	20	20
Tiempo de pago en el vehículo (en C)	t $\theta$ (seg/trayecto)	25	25	25	25	25
Tiempo de asignación de trayectos (en C)	ta (seg/trayecto)	25	25	25	25	25

Tabla 12: INPUTS configuración 1 (continuación) (fuente: elaboración propia)

## Configuración 2



*Ilustración 53: Zonas TAD configuración 2 (fuente: elaboración propia)*

En esta configuración, las zonas son sometidas a un proceso de consolidación y extensión previo a ser usadas en el modelo. Así pues, las mismas 10 zonas utilizadas en la anterior configuración han sido fusionadas en 6 grandes servicios TAD (Ilustración 53), que incluyen:

- TAD Maritim: sigue incluyendo únicamente la zona 1 siendo el mismo TAD.
- TAD Este: es el resultado de la extensión de la 4 hasta la Avenida del *Lledó*. Se añade la porción que incluye el barrio de Rafalafena, el Auditorio y la ciudad de la Justicia y que pese a tener líneas fijas de bus fue candidata a zona potencial.
- TAD Sur: es el servicio de la zona sur e incluye tanto la zona 5 como la 6 en lo que es una gran zona alargada con zonas a la vez urbanas y periféricas.
- TAD Oeste: es el resultado de juntar en un mismo servicio las zonas 7 y 8, cubriendo a la vez la zona comercial y los grupos hasta la carreta de la Alcora.
- TAD Alcora: es el mismo que en la anterior configuración, incluyendo únicamente la zona 9 por ser ya lo suficientemente grande.
- TAD Norte: resultado de fusión en un único servicio de las zonas 10, 11 y 12. Al ser adyacentes, no es necesario añadir ninguna porción suplementaria

Zonas Conf-2		TAD Marítimo	TAD Este	TAD Sur	TAD Oeste	TAD Alcora	TAD Norte
Z. potenciales		ZONA 1	ZONA 4+	ZONA 5 + 6	ZONA 7 + 8	ZONA 9	ZONA 10+11+12
Distancia media de trayecto	l(km)	2.875	0.75	1.75	1.25	5.5	1.85
Longitud de la zona	L(km)	5.75	2.75	3	2.25	8.75	3.3
Ancho de la zona	W(km)	0.45	0.75	0.85	1.15	0.15	1.3
Densidad de demanda	$\lambda d$ (pax/km <sup>2</sup> -h)	15	15	15	15	15	15
Capacidad de los vehículos	C (pax)	8	8	8	8	8	8
Velocidad de cruce	v (km/h)	50	40	45	40	55	40
Aceleración	a (m/s <sup>2</sup> )	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
Tiempo de subida y bajada por pasajero	$\tau'$ (s/pax)	5	5	5	5	5	5
Velocidad a pie	vw (km/h)	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
Varianza del intervalo	s <sub>2H</sub> (h <sup>2</sup> )	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
Coste unitario por km (c. var. en AyB)	cd (€/veh-km)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Coste unitario por hora (c. fijo en AyB)	ct (€/veh-h)	30	30	30	30	30	30
Tarifa (modalidad A y B)	$\theta$ (€/trayecto)	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
Valor del tiempo	$\beta t$ (€/pax-h)	8	8	8	8	8	8
Penalización equivalente por transbordo	P (km)	0	0	0	0	0	0
Peso percibido del tiempo de acceso	w <sub>A</sub> (-)	1	1	1	1	1	1
Peso percibido del tiempo de espera	w <sub>W</sub> (-)	1	1	1	1	1	1
Peso percibido del tiempo de trayecto	w <sub>T</sub> (-)	1	1	1	1	1	1
Peso percibido del tiempo de transbordo	w <sub>t</sub> (-)	1	1	1	1	1	1
Intervalo mínimo	H <sub>m</sub> (min)	5	5	5	5	5	5
Separación media entre calles	$\Delta s$ (km)	0.175	0.135	0.175	0.19	0.3	0.175
Tarifa unitaria por km (modalidad C)	$\theta_{km}$ (€/veh-km)	1	1	1	1	1	1
Bajada de bandera (modalidad C)	$\Phi$ (€/trip)	0	0	0	0	0	0
Coste unitario por km (c. variable en C)	cd (€/veh-km)	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Coste unitario por hora (c. fijo en C)	ct (€/veh-h)	20	20	20	20	20	20
Tiempo de pago en el vehículo (en C)	t $\theta$ (seg/trayecto)	25	25	25	25	25	25
Tiempo de asignación de trayectos (C)	ta (seg/trayecto)	25	25	25	25	25	25

Tabla 13: INPUTS configuración 2 (fuente: elaboración propia)

En la Tabla 13 se resumen todos los servicios TAD que componen esta configuración, indicándose también los valores de las variables que caracterizan cada zona.



	<b>Zonas Conf-3 Z. potenciales</b>	<b>TAD Marítimo ZONA 1</b>	<b>TAD Sur ZONA 6 + 7</b>	<b>TAD Alcora ZONA 9</b>	<b>TAD Norte ZONA 11</b>	<b>TAD Centro ZONA 13 + 8</b>
Distancia media de trayecto	l(km)	2.875	1.35	5.5	1.3	1.25
Longitud de la zona	L(km)	5.75	2.1	8.75	1.6	3.25
Ancho de la zona	W(km)	0.45	2	0.15	1	3.25
Densidad de demanda	$\lambda d$ (pax/km <sup>2</sup> -h)	15	15	15	15	15
Capacidad de los vehículos	C (pax)	8	8	8	8	8
Velocidad de cruce	v (km/h)	50	50	55	40	35
Aceleración	a (m/s <sup>2</sup> )	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
Tiempo de subida y bajada por pasajero	$\tau'$ (s/pax)	5	5	5	5	5
Velocidad a pie	vw (km/h)	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
Varianza del intervalo	s <sup>2</sup> H (h <sup>2</sup> )	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
Coste unitario por km (c. var. en A y B)	cd (€/veh-km)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Coste unitario por hora (c. fijo en A y B)	ct (€/veh-h)	30	30	30	30	30
Tarifa (modalidad A y B)	$\theta$ (€/trayecto)	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
Valor del tiempo	$\beta t$ (€/pax-h)	8	8	8	8	8
Penalización equivalente por transbordo	P (km)	0	0	0	0	0
Peso percibido del tiempo de acceso	wA (-)	1	1	1	1	1
Peso percibido del tiempo de espera	wW (-)	1	1	1	1	1
Peso percibido del tiempo de trayecto	wT (-)	1	1	1	1	1
Peso percibido del tiempo de transbordo	wt (-)	1	1	1	1	1
Intervalo mínimo	Hm (min)	5	5	5	5	5
Separación media entre calles	$\Delta s$ (km)	0.175	0.2	0.3	0.25	0.125
Tarifa unitaria por km (modalidad C)	$\theta km$ (€/veh-km)	1	1	1	1	1
Bajada de bandera (modalidad C)	$\Phi$ (€/trip)	0	0	0	0	0
Coste unitario por km (c. variable en C)	cd (€/veh-km)	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Coste unitario por hora (coste fijo en C)	ct (€/veh-h)	20	20	20	20	20
Tiempo de pago en el vehículo (en C)	t $\theta$ (seg/trayecto)	25	25	25	25	25
Tiempo de asignación de trayectos (C)	ta (seg/trayecto)	25	25	25	25	25

Tabla 14: INPUTS configuración 3 (fuente: elaboración propia)

En la Tabla 14 se resumen todos los servicios TAD que componen esta configuración, indicándose también los valores de las variables que caracterizan cada zona.

#### 7.7.4 Valores escogidos

Los rangos de los valores definidos como INPUTS para cada una de las configuraciones anteriormente descritas están basados en gran medida en el análisis completo de la ciudad realizado anteriormente. Sin embargo, en algunos casos, y por falta de datos exactos aun y habiéndolos solicitado al propio ayuntamiento, los valores finales han sido definidos a partir de conocimientos profesionales propios [44] basados en casos aplicados similares y definidos de forma aproximada según las características de la ciudad. Si bien este procedimiento es válido para un proyecto académico de implantación, en un caso aplicado real se exigiría estudios que

aportaran valores más exactos o implantaciones temporales como fuente de datos. Se explica brevemente a continuación la obtención de algunos de esos valores con tal de justificar la elección hecha:

- La distancia media por trayecto, la longitud y el ancho de la zona han sido obtenidas directamente como valores promedio del mapa [25] donde se han diseñado, con exactitud y teniendo en cuenta la cartografía urbana, cada una de las zonas. El área teórica se asemeja en la medida de lo posible al área real, cuyos valores se muestran en OUTPUTS. De la misma cartografía se ha obtenido en promedio la separación entre calles que permite calcular la separación entre paradas.
- La densidad de demanda se ha calculado a partir del análisis demográfico realizado que considera un tercio de la población como usuarios potenciales [18]. El total se ha dividido entre la superficie urbana (6 km<sup>2</sup>) y entre las 13h que el servicio estaría operativo. Finalmente, de los 730 usuarios/km<sup>2</sup>/h que pueden interesarse por el servicio, se ha fijado un objetivo inicial de mercado del 2%. Estos valores son conformes con lo observado en servicios reales en operación.
- Se han escogido vehículos de 8 plazas para las modalidades A y B por ser los más comunes en los servicios TAD comerciales y por considerarse adecuados para los niveles de demanda del servicio desde su lanzamiento. El tamaño ha condicionado la aceleración siendo un Mercedes-Benz Vito. Los vehículos de la c transportan por defecto una persona por trayecto por lo que pueden considerarse de 5 plazas.
- Los costes temporales y espaciales, basándose en los utilizados por Estrada et al (2019) [8] en su estudio, han sido definidos de forma aproximada a partir de conocimientos profesionales propios [44] y conforme a otros servicios [37]. No se pudieron obtener datos operacionales reales aun habiéndolos solicitado al ayuntamiento por lo que serán valores a revisar en caso de una aplicación real del estudio. Los de la modalidad A y B fueron definidos ligeramente inferiores por el menor tamaño de los vehiculos y el de la c superiores para penalizar el hecho que no sea realmente un servicio de taxi sino un servicio de transporte público en modalidad TAD.
- La velocidad de cruce se ha obtenido de una estimación hecha a partir de las características urbanas de las zonas. Este dato proviene del conocimiento personal del entramado urbano. La velocidad a pie se ha obtenido de estudios sobre el tema.
- Las tarifas han sido definidas a partir de los datos ofrecidos por el ayuntamiento [15] y en base a los precios por trayecto aplicados actualmente en la red urbana. En la modalidad C se ha ignorado la bajada de bandera y establecido un precio por km que permite un precio medio por trayecto equiparable al de las otras dos.
- El resto de valores son aproximaciones basadas en el estudio de Estrada et al (2019) [8], en los conocimientos profesionales propios [44] o confirmadas por el ayuntamiento [15].



### 7.7.5 Región factible

Finalmente se procede a definir la región factible restringiendo algunas variables. Estas permitirán determinar cuándo un servicio TAD no es lo bastante eficiente para ser incluido en el servicio global de la ciudad y debe procederse a su descarte.

En la Tabla 15 se indican los valores mínimos o máximos que deben obtenerse en las diferentes variables de diseño. Si al hacer la selección de la modalidad algún valor supera o no alcanza estos valores el servicio TAD no es apto y se descarta directamente.

		Min	Max
Intervalo de paso	H (horas)	0.08	0.50
Tiempo de espera	To (horas)		0.17
Coste total del sistema	Z (€/hora)		200.00
Coste unitario por trayecto	za (€/pax)		5.00
Distancia total recorrida en 1 hora	Q (veh-km)		100.00
Flota necesaria	M (veh-h)	1.00	5.00
Velocidad comercial	vc (km/h)	15.00	
Tiempo puerta-a-puerta	T (h)		0.50

Tabla 15: Región factible (fuente: elaboración propia)

## 7.8 Aplicación del modelo: resultados obtenidos

Se presentan a continuación los resultados finales obtenidos de la aplicación del modelo de implantación previamente explicado y cuyas características e inputs han sido definidos en el apartado anterior para cada una de las configuraciones. Se incluyen únicamente los resultados finales de cada elección realizado.

Para cada una de las 6 configuraciones a las que se ha aplicado el modelo (3 configuraciones con 2 enfoques cada una) se ha obtenido una tabla que resume, para todas las zonas que la componen, tanto la modalidad de TAD seleccionada como los resultados óptimos de diseño del servicio para esa zona con la modalidad correspondiente. La modalidad seleccionada será generalmente aquella que, cumpliendo los valores de seguridad, presente un coste total inferior a las demás. Al final, se procede a hacer el cómputo global del servicio urbano de TAD resultante permitiendo así la posterior comparación y selección de la configuración más adecuada.

### 7.8.1 Enfoque A

En el enfoque A se ha realizado una optimización pura siendo el intervalo, tiempo de espera o separación de paradas valores obtenidos con los resultados de diseño. Las Tablas 16 a 20 muestran los resultados, por zona y globales, obtenidos para las 3 configuraciones.

#### Configuración A1

De la aplicación del modelo con la configuración A1 se obtienen los siguientes resultados para cada una de las zonas y a escala local para el conjunto de la ciudad (Tablas 16 y 17):

	Zona TAD	TAD	TAD	TAD	TAD
	Modalidad	Marítimo	Sureste	Sur	Almazora
	escogida	B	C	C	C
Paradas realizadas por sentido (m. A y B)	Se (paradas)	6.79			
Trayectos por vehículo (modalidad C)	(trayectos/veh-h)		6.56	5.70	9.45
Distancia entre paradas (modalidad A)	s (km)				
Sumatorio (modalidad B)	(-)	0.02			
Ingresos por hora (modalidad C)	I (€/h)		24.61	13.78	79.34
Intervalo de paso (modalidades A y B)	H (horas)	0.18			
Tiempo de espera (modalidad C)	To (horas)		0.02	0.02	0.02
<b>Coste total del sistema</b>	<b>Z (€/hora)</b>	<b>154.40</b>	<b>49.30</b>	<b>46.43</b>	<b>87.41</b>
Coste de los usuarios	Zu (€/h)	55.39	4.38	3.67	11.54
Coste del operador	Za (€/h)	99.01	44.92	42.76	75.87
Coste unitario por trayecto	za (€/pax)	2.55	3.42	3.75	2.68
Distancia total recorrida en 1 hora	Q (veh-km)	78.01	24.61	13.78	79.34
Flota necesaria	M (veh-h)	2.00	2.00	2.00	3.00
Velocidad comercial (modalidades A y B)	vc (km/h)	40.07			
Tiempo de acceso estimado	A (h)	0.00	0.00	0.00	0.00
Tiempo de espera estimado	W (h)	0.09	0.02	0.02	0.02
Tiempo de trayecto estimado	IVTT (h)	0.09	0.02	0.02	0.03
Tiempo puerta-a-puerta	T (h)	0.18	0.04	0.04	0.05
Ocupación media de los vehículos (m. A y B)	O (pax)	1.70			
Factor de cobertura	Fc (-)	0.41	0.55	0.32	1.05
Superficie total de la zona	km2	3.15	0.92	0.78	1.88

Tabla 16: Resultados A1 (fuente: [8], elaboración propia)

Zona TAD	TAD Oeste	TAD Alcora	TAD Noroeste	TAD Penyeta	TAD Noreste	TOTAL DE LA CONFIGURACION EN 1H			
Modalidad escogida	C	A	C	C	C	Absoluto	Por km2	Por usuario	Promedio
Se (paradas)		8.12							
(trayectos/veh-h)	4.73		9.75	8.00	7.35				
s (km)		0.01							
(-)									
I (€/h)	11.42		39.54	53.87	27.52				
H (horas)		0.41							
To (horas)	0.02		0.03	0.02	0.03				
<b>Z (€/hora)</b>	<b>45.33</b>	<b>107.78</b>	<b>55.82</b>	<b>81.55</b>	<b>51.80</b>	<b>763.89</b>	51.79	3.45	90.74
Zu (€/h)	3.05	56.57	7.91	10.77	6.29	<b>170.90</b>	11.59	0.77	22.75
Za (€/h)	42.28	51.21	47.91	70.77	45.50	<b>592.99</b>	40.20	2.68	67.99
za (€/pax)	4.47	2.60	2.46	2.95	3.10				2.87
Q (veh-km)	11.42	42.42	39.54	53.87	27.52	<b>434.30</b>	29.44	1.96	53.77
M (veh-h)	2.00	1.00	2.00	3.00	2.00	<b>22.00</b>	1.49	0.10	2.30
vc (km/h)		43.10							
A (h)	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00				0.00
W (h)	0.02	0.21	0.03	0.02	0.03				0.06
IVTT (h)	0.02	0.13	0.02	0.03	0.03				0.05
T (h)	0.04	0.36	0.05	0.06	0.05				0.10
O (pax)		2.55							
Fc (-)	0.27	0.40	0.83	0.76	0.60				0.64
km2	0.68	1.27	1.29	1.80	0.96	TOTAL km2	<b>14.75</b>	221.25	usuarios/h

Tabla 17: Resultados A1 (continuación) (fuente: [8], elaboración propia)

La elección de la modalidad adecuada a cada zona se ha realizado atendiendo al criterio de coste mínimo. Ninguna zona potencial ha sido descartada y la modalidad C ha sido la menos cara para todas las zonas excepto el TAD Marítimo y el TAD Alcora.

Configuración A2

De la aplicación del modelo con la configuración A2 se obtienen los siguientes resultados para cada una de las zonas y a escala local para el conjunto de la ciudad (Tablas 18 y 19):

	Zona TAD	TAD Marítimo	TAD Este	TAD Sur	TAD Oeste	TAD Alcora	TAD Norte
	Modalidad escogida	B	C	C	C	A	C
Paradas realizadas por sentido (m. A y B)	Se (paradas)	6.79				8.12	
Trayectos por vehículo (modalidad C)	(trayectos/veh-h)		10.31	9.56	9.70		8.04
Distancia entre paradas (modalidad A)	s (km)					0.01	
Sumatorio (modalidad B)	(-)	0.02					
Ingresos por hora (modalidad C)	I (€/h)		57.58	121.92	91.64		179.82
Intervalo de paso (modalidades A y B)	H (horas)	0.18				0.41	
Tiempo de espera (modalidad C)	To (horas)		0.03	0.03	0.03		0.02
<b>Coste total del sistema</b>	<b>Z (€/hora)</b>	<b>154.40</b>	<b>83.03</b>	<b>126.06</b>	<b>116.66</b>	<b>107.78</b>	<b>231.93</b>
Coste de los usuarios	Zu (€/h)	55.39	11.52	21.68	18.33	56.57	35.96
Coste del operador	Za (€/h)	99.01	71.52	104.38	98.33	51.21	195.96
Coste unitario por trayecto	za (€/pax)	2.55	2.31	2.73	2.53	2.60	3.05
Distancia total recorrida en 1 hora	Q (veh-km)	78.01	57.58	121.92	91.64	42.42	179.82
Flota necesaria	M (veh-h)	2.00	3.00	4.00	4.00	1.00	8.00
Velocidad comercial (modalidades A y B)	vc (km/h)	40.07				43.10	
Tiempo de acceso estimado	A (h)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00
Tiempo de espera estimado	W (h)	0.09	0.03	0.03	0.03	0.21	0.02
Tiempo de trayecto estimado	IVTT (h)	0.09	0.02	0.04	0.03	0.13	0.05
Tiempo puerta-a-puerta	T (h)	0.18	0.05	0.07	0.06	0.36	0.07
Ocupación media de los vehículos (m. A y B)	O (pax)	1.70				2.55	
Factor de cobertura	Fc (-)	0.41	0.81	1.17	0.93	0.40	0.92
Superficie total de la zona	km2	3.15	1.99	2.66	2.7	1.27	4.42

Tabla 18: Resultados A2 (fuente: [8], elaboración propia)

Zona TAD	TOTAL DE LA CONFIGURACION EN 1H			
Modalidad escogida	Absoluto	Por km2	Por usuario	Promedio
Se (paradas)				
(trayectos/veh-h)				
s (km)				
(-)				
I (€/h)				
H (horas)				
To (horas)				
<b>Z (€/hora)</b>	<b>819.85</b>	50.64	3.38	152.19
Zu (€/h)	<b>199.44</b>	12.32	0.82	33.07
Za (€/h)	<b>620.41</b>	38.32	2.55	119.12
za (€/pax)				2.69
Q (veh-km)	<b>571.40</b>	35.29	2.35	109.99
M (veh-h)	<b>22.00</b>	1.36	0.09	4.34
vc (km/h)				
A (h)				0.00
W (h)				0.05
IVTT (h)				0.05
T (h)				0.11
O (pax)				
Fc (-)				0.81
km2	TOTAL km2	<b>16.19</b>	242.85	usuarios/h

Tabla 19: Resultados A2 (continuación) (fuente: [8], elaboración propia)

Una vez más la elección de la modalidad adecuada a cada zona se ha realizado atendiendo al criterio de coste mínimo, ninguna zona ha sido descartada y la modalidad C ha sido la menos cara para todas las zonas excepto el TAD Marítimo y el TAD Alcora.

Configuración A3

De la aplicación del modelo con la configuración A3 se obtienen los siguientes resultados para cada una de las zonas y a escala local para el conjunto de la ciudad (Tabla 20):

	Zona TAD	TAD Marítimo	TAD Sur	TAD Alcora	TAD Norte	TAD Centro	TOTAL DE LA CONFIGURACION EN 1H			
	Modalidad escogida	B	C	A	C	C	Absoluto	Por km2	Por usuario	Prome.
Paradas por sentido (AyB)	Se (paradas)	6.79		8.12						
Trayectos por vehículo (C)	(tray./veh-h)		10.50		8.00	9.90				
Distancia entre paradas (A)	s (km)			0.01						
Sumatorio (modalidad B)	(-)	0.02								
Ingresos por hora (m. C)	I (€/h)		159.43		53.87	375.19				
Intervalo de paso (A y B)	H (horas)	0.18		0.41						
Tiempo de espera (m. C)	To (horas)		0.02		0.02	0.03				
<b>Coste total del sistema</b>	<b>Z (€/hora)</b>	<b>154.40</b>	<b>177.39</b>	<b>107.78</b>	<b>81.55</b>	<b>480.80</b>	<b>1001.91</b>	50.40	3.36	304.54
Coste de los usuarios	Zu (€/h)	55.39	25.51	56.57	10.77	85.76	<b>234.00</b>	11.77	0.78	59.47
Coste del operador	Za (€/h)	99.01	151.89	51.21	70.77	395.04	<b>767.92</b>	38.63	2.58	245.07
Coste unitario por trayecto	za (€/pax)	2.55	2.41	2.60	2.95	2.49				2.53
Distancia total en 1h	Q (veh-km)	78.01	159.43	42.42	53.87	375.19	<b>708.92</b>	35.66	2.38	231.84
Flota necesaria	M (veh-h)	2.00	6.00	1.00	3.00	16.00	<b>28.00</b>	1.41	0.09	9.52
Vel. comercial (m. A y B)	vc (km/h)	40.07		43.10						
Tiempo de acceso estimado	A (h)	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00				0.00
Tiempo de espera estimado	W (h)	0.09	0.02	0.21	0.02	0.03				0.05
T. de trayecto estimado	IVTT (h)	0.09	0.03	0.13	0.03	0.04				0.05
Tiempo puerta-a-puerta	T (h)	0.18	0.05	0.36	0.06	0.07				0.10
Ocupación de los veh. (AyB)	O (pax)	1.70		2.55						
Factor de cobertura	Fc (-)	0.41	1.05	0.40	0.76	0.95				0.83
Superficie total de la zona	km2	3.15	4.23	1.27	1.8	9.43	TOTAL km2	<b>19.88</b>	298.2	usu./h

Tabla 20: Resultados A3 (fuente: [8], elaboración propia)

Ninguna zona ha sido descartada y la modalidad C ha sido la menos cara para todas las zonas excepto el TAD Marítimo y el TAD Alcora.

### 7.8.2 Enfoque B

En el enfoque B se ha realizado una optimización pura siendo el intervalo, tiempo de espera o separación de paradas valores obtenidos con los resultados de diseño. Las Tablas 21 a 25 muestran los resultados, por zona y globales, para las tres configuraciones.

#### Configuración B1

De la aplicación del modelo con la configuración B1 se obtienen los siguientes resultados para cada una de las zonas y a escala local para el conjunto de la ciudad (Tablas 21 y 22):

	Zona TAD	TAD Marítimo	TAD Sureste	TAD Sur	TAD Almazora	TAD Suroeste
	Modalidad escogida	A	C	C	C	C
Paradas realizadas por sentido (m. A y B)	Se (paradas)	6.47				
Trayectos por vehículo (modalidad C)	(trayectos/veh-h)		6.56	5.70	9.45	9.00
Distancia entre paradas (modalidad A)	s (km)	0.08				
Sumatorio (modalidad B)	(-)					
Ingresos por hora (modalidad C)	I (€/h)		37.73	19.95	107.49	85.72
Intervalo de paso (modalidades A y B)	H (horas)	0.17				
Tiempo de espera (modalidad C)	To (horas)		0.04	0.04	0.04	0.04
<b>Coste total del sistema</b>	<b>Z (€/hora)</b>	<b>168.38</b>	<b>54.26</b>	<b>49.31</b>	<b>97.13</b>	<b>92.38</b>
Coste de los usuarios	Zu (€/h)	73.88	6.71	5.32	15.64	15.24
Coste del operador	Za (€/h)	94.50	47.55	43.99	81.50	77.14
Coste unitario por trayecto	za (€/pax)	2.43	3.62	3.86	2.87	2.86
Distancia total recorrida en 1 hora	Q (veh-km)	69.00	37.73	19.95	107.49	85.72
Flota necesaria	M (veh-h)	2.00	2.00	2.00	3.00	3.00
Velocidad comercial (modalidades A y B)	vc (km/h)	39.06				
Tiempo de acceso estimado	A (h)	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00
Tiempo de espera estimado	W (h)	0.09	0.04	0.04	0.04	0.04
Tiempo de trayecto estimado	IVTT (h)	0.07	0.02	0.02	0.03	0.03
Tiempo puerta-a-puerta	T (h)	0.24	0.06	0.06	0.07	0.07
Ocupación media de los vehículos (m. A y B)	O (pax)	1.62				
Factor de cobertura	Fc (-)	0.43	0.79	0.45	1.32	1.11
Superficie total de la zona	km2	3.15	0.915	0.779	1.88	2.02

Tabla 21: Resultados B1 (fuente: [8], elaboración propia)

Zona TAD	TAD Oeste	TAD Alcora	TAD Noroeste	TAD Penyeta	TAD Noreste	TOTAL DE LA CONFIGURACION EN 1H			
Modalidad escogida	B	C	C	C	C	Absoluto	Por km2	Por usuario	Promedio
Se (paradas)	1.57								
(trayectos/veh-h)		4.92	9.75	8.00	7.35				
s (km)									
(-)	0.04								
I (€/h)		153.40	47.12	71.20	34.67				
H (horas)	0.17								
To (horas)		0.04	0.04	0.04	0.04				
<b>Z (€/hora)</b>	<b>46.49</b>	<b>132.99</b>	<b>58.85</b>	<b>88.48</b>	<b>54.86</b>	<b>843.14</b>	57.16	3.81	100.09
Zu (€/h)	8.77	22.31	9.42	14.24	7.92	<b>179.46</b>	12.17	0.81	25.96
Za (€/h)	37.72	110.68	49.42	74.24	46.93	<b>663.68</b>	45.00	3.00	74.13
za (€/pax)	3.99	5.62	2.53	3.09	3.19				3.18
Q (veh-km)	15.44	153.40	47.12	71.20	34.67	<b>641.73</b>	43.51	2.90	72.57
M (veh-h)	1.00	4.00	2.00	3.00	2.00	<b>24.00</b>	1.63	0.11	2.51
vc (km/h)	26.79								
A (h)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00				0.02
W (h)	0.09	0.04	0.04	0.04	0.04				0.05
IVTT (h)	0.03	0.10	0.02	0.03	0.03				0.04
T (h)	0.12	0.14	0.06	0.07	0.07				0.11
O (pax)	0.44								
Fc (-)	0.26	1.39	0.95	0.96	0.74				0.87
km2	0.682	1.27	1.29	1.8	0.964	TOTAL km2	<b>14.75</b>	221.25	usuarios/h

Tabla 22: Resultados B1 (continuación) (fuente: [8], elaboración propia)

Ninguna zona ha sido descartada y la modalidad C ha sido la menos cara para todas las zonas excepto el TAD Marítimo y el TAD Oeste.



Configuración B2

De la aplicación del modelo con la configuración B2 se obtienen los siguientes resultados para cada una de las zonas y a escala local para el conjunto de la ciudad (Tablas 23 y 24):

	Zona TAD	TAD Marítimo	TAD Este	TAD Sur	TAD Oeste	TAD Alcora	TAD Norte
	Modalidad escogida	A	C	B	C	C	C
Paradas realizadas por sentido (A y B)	Se (paradas)	6.47		6.37			
Trayectos por vehículo (modalidad C)	(trayectos/veh-h)		10.31		9.70	4.92	8.04
Distancia entre paradas (modalidad A)	s (km)	0.08					
Sumatorio (modalidad B)	(-)			0.06			
Ingresos por hora (modalidad C)	I (€/h)		74.77		113.20	153.40	226.30
Intervalo de paso (modalidades A y B)	H (horas)	0.17		0.17			
Tiempo de espera (modalidad C)	To (horas)		0.04		0.04	0.04	0.04
<b>Coste total del sistema</b>	<b>Z (€/hora)</b>	<b>168.38</b>	<b>89.91</b>	<b>141.34</b>	<b>125.28</b>	<b>132.99</b>	<b>250.52</b>
Coste de los usuarios	Zu (€/h)	73.88	14.95	51.95	22.64	22.31	45.26
Coste del operador	Za (€/h)	94.50	74.95	89.39	102.64	110.68	205.26
Coste unitario por trayecto	za (€/pax)	2.43	2.42	2.34	2.64	5.62	3.19
Distancia total recorrida en 1 hora	Q (veh-km)	69.00	74.77	58.78	113.20	153.40	226.30
Flota necesaria	M (veh-h)	2.00	3.00	2.00	4.00	4.00	8.00
Velocidad comercial (m. A y B)	vc (km/h)	39.06		35.53			
Tiempo de acceso estimado	A (h)	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tiempo de espera estimado	W (h)	0.09	0.04	0.09	0.04	0.04	0.04
Tiempo de trayecto estimado	IVTT (h)	0.07	0.02	0.08	0.03	0.10	0.05
Tiempo puerta-a-puerta	T (h)	0.24	0.06	0.17	0.07	0.14	0.09
Ocupación media de los vehículos (A y B)	O (pax)	1.62		1.86			
Factor de cobertura	Fc (-)	0.43	1.00	0.45	1.10	1.39	1.10
Superficie total de la zona	km2	3.15	1.99	2.66	2.7	1.27	4.42

Tabla 23: Resultados B2 (fuente: [8], elaboración propia)

Zona TAD	TOTAL DE LA CONFIGURACION EN 1H			
Modalidad escogida	Absoluto	Por km2	Por usuario	Promedio
Se (paradas)				
(trayectos/veh-h)				
s (km)				
(-)				
I (€/h)				
H (horas)				
To (horas)				
<b>Z (€/hora)</b>	<b>908.42</b>	56.11	3.74	166.75
Zu (€/h)	<b>230.99</b>	14.27	0.95	42.63
Za (€/h)	<b>677.42</b>	41.84	2.79	124.12
za (€/pax)				2.91
Q (veh-km)	<b>695.44</b>	42.96	2.86	124.97
M (veh-h)	<b>23.00</b>	1.42	0.09	4.25
vc (km/h)				
A (h)				0.01
W (h)				0.06
IVTT (h)				0.06
T (h)				0.13
O (pax)				
Fc (-)				0.87
km2	TOTAL km2	<b>16.19</b>	242.85	usuarios/h

Tabla 24: Resultados B2 (continuación) (fuente: [8], elaboración propia)

Ninguna zona ha sido descartada y la modalidad C ha sido la menos cara para todas las zonas excepto el TAD Marítimo y el TAD Sur.

Configuración B3

De la aplicación del modelo con la configuración B3 se obtienen los siguientes resultados para cada una de las zonas y a escala local para el conjunto de la ciudad (Tabla 25):

	Zona TAD	TAD Marítimo	TAD Sur	TAD Alcora	TAD Norte	TAD Centro	TOTAL DE LA CONFIGURACION EN 1H			
	Modalidad escogida	A	C	C	C	C	Absoluto	Por km2	Por usuario	Promedio
Paradas realizadas por sentido (m. A y B)	Se (paradas)	6.47								
Trayectos por vehículo (m. C)	(tray./veh-h)		10.50	4.92	8.00	9.90				
Distancia entre paradas (modalidad A)	s (km)	0.08								
Sumatorio (m. B)	(-)									
Ingresos por hora (modalidad C)	I (€/h)		216.30	153.40	71.20	429.10				
Intervalo de paso (modalidades A y B)	H (horas)	0.17								
Tiempo de espera (modalidad C)	To (horas)		0.04	0.04	0.04	0.04				
<b>Coste total del sistema</b>	<b>Z (€/hora)</b>	<b>168.38</b>	<b>197.87</b>	<b>132.99</b>	<b>88.48</b>	<b>503.90</b>	<b>1091.62</b>	54.91	3.66	324.31
Coste de los usuarios	Zu (€/h)	73.88	34.61	22.31	14.24	98.08	<b>243.12</b>	12.23	0.82	68.31
Coste del operador	Za (€/h)	94.50	163.26	110.68	74.24	405.82	<b>848.50</b>	42.68	2.85	256.00
Coste unitario por trayecto	za (€/pax)	2.43	2.59	5.62	3.09	2.56				2.79
Distancia total recorrida en 1 hora	Q (veh-km)	69.00	216.30	153.40	71.20	429.10	<b>939.00</b>	47.23	3.15	276.75
Flota necesaria	M (veh-h)	2.00	6.00	4.00	3.00	16.00	<b>31.00</b>	1.56	0.10	9.71
Velocidad comercial (modalidades A y B)	vc (km/h)	39.06								
Tiempo de acceso estimado	A (h)	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00				0.01
Tiempo de espera estimado	W (h)	0.09	0.04	0.04	0.04	0.04				0.05
Tiempo de trayecto estimado	IVTT (h)	0.07	0.03	0.10	0.03	0.04				0.04
Tiempo puerta-a-puerta	T (h)	0.24	0.07	0.14	0.07	0.08				0.10
Ocupación media de los vehículos (m. A y B)	O (pax)	1.62								
Factor de cobertura	Fc (-)	0.43	1.32	1.39	0.96	1.06				1.03
Superficie total de la zona	km2	3.15	4.23	1.27	1.8	9.43	TOTAL km2	<b>19.88</b>	298.2	usuarios/h

Tabla 25: Resultados B3 (fuente: [8], elaboración propia)

Ninguna zona ha sido descartada y la modalidad C ha sido la menos cara para todas las zonas excepto el TAD Marítimo.

### *7.8.3 Comparación y elección de configuración*

Obtenidos y expuestos los resultados, procedemos a comparar las 6 configuraciones sin hacer la distinción entre los 2 enfoques y a determinar la que globalmente es más adecuada para ser implantada en la mejora de la movilidad urbana castellonense.

Si observamos las modalidades escogidas, la C ha sido la mejor para la mayoría de zonas por sus características y su gran flexibilidad para adaptarse a las necesidades precisas. En todas las modalidades del enfoque A, únicamente el TAD Marítimo y el TAD Alcora disponen de las modalidades B y A respectivamente, mientras que en las del enfoque B, el TAD Marítimo es servido por la modalidad A y la modalidad B está presente únicamente en una zona de dos de las configuraciones. Se observa pues como, efectivamente, solo las zonas alargadas o de tamaño muy reducido como es el caso del TAD Oeste de la configuración B1, que presenta la modalidad B.

Comparamos ahora los resultados numéricos globales obtenidos. En lo que respecta al coste absoluto total del sistema puede observarse como las configuraciones 3 son mas más caras que las 2 y 1, siendo estas últimas las más baratas. Hay que tener en cuenta que según se van consolidando las zonas se obtiene un área de servicio total más amplia, origen de este sobrecoste. Así pues, si observamos el coste relativo al número de km<sup>2</sup> y la cantidad de usuarios de cada configuración, las configuraciones 3 son más baratas que las 2 y 1, siendo inversamente proporcionales al grado de consolidación. Con esto puede afirmarse que la consolidación de zonas permite una reducción de los costes medios por km<sup>2</sup> y usuario si bien implica un aumento de los costes totales por precisar más área. Las mismas tendencias se observan para los costes por usuario y operador y las configuraciones del enfoque B son siempre más caras que la del A aun con igual km.

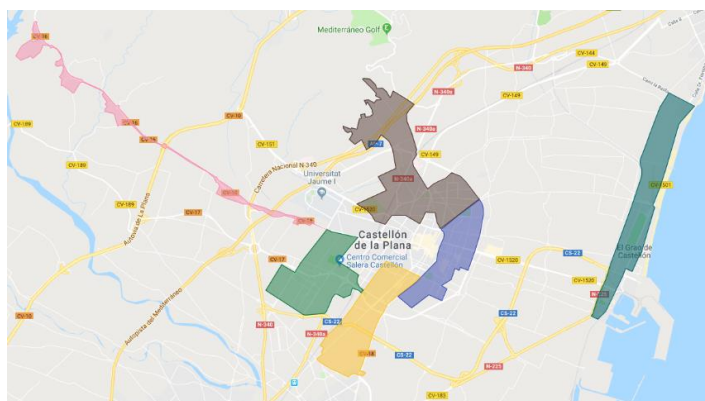
En lo que respecta a los km totales recorridos por la flota en 1h, esta cantidad es mucho mayor para las configuraciones 3 que para las 1 y 2 y con el enfoque B que, con el A, pasando de 430km a 708km del A1 al A3 y de 641km a 939km del B1 al B3. Por km<sup>2</sup> y pasajero se observan las mismas tendencias. Este es un dato importante desde un punto de vista medioambiental, por lo que puede considerarse que las configuraciones 3, más consolidadas, son absoluta y relativamente las menos verdes, pues implican un consumo mayor de carburante y mayores emisiones al incluir zonas anteriormente peatonales.

En cuanto al número de vehículos, se observan unas tendencias similares a las de los otros dos parámetros comparados. Así pues, las configuraciones B3 y A3 presentan necesitan 6 vehículos más que las otras dos, siendo la primera con 31 vehículos la más que presenta una flota mayor.

Las flotas de las configuraciones 1 y 2 son similares en términos absolutos. Por km<sup>2</sup> y número de pasajeros, los tres grupos de configuraciones presentan valores similares, no siendo las configuraciones 3 mucho peores que la 1 y la 2.

Así pues, para concluir, puede observarse claramente como las configuraciones del enfoque B son siempre peores que las del A, con costes totales más elevados, una mayor distancia total recorrida y flotas de mayor tamaño, absoluta y relativamente. Estos son los resultados esperados pues cabe recordar que el enfoque B no buscaba la minimización final del coste total sino ofrecer el mejor diseño posible con variables predefinidas. Igualmente, las configuraciones 3 son absoluta y relativamente mejores que las 1 y 2 a excepción del coste del sistema relativo donde presentan un coste medio por usuario y kilometro mejor que las otras dos. Esto es razonable pues según se va consolidando deben incluirse áreas intermedias que no precisan realmente de un servicio TAD y que dan lugar a zonas de gran tamaño de difícil servicio. Además, la creación de un servicio urbano global con una gran zona obliga a incluir zonas que podrían servirse con la marcha a pie.

Así pues, por todo lo indicado, la elección de la modalidad optima a implantar se limita a la A1 o la A2. Ambas presentan valores equivalentes debido al poco grado de consolidación que se aplica y en términos de km totales, de cantidad de vehicules o de coste total la primera es ligeramente mejor que la segunda, pero no lo suficiente globalmente. El único aspecto en el que difieren es la financiación. Así, si se observa el coste unitario por trayecto (relación entre el coste del operador y la cantidad de usuarios transportados) y el factor de cobertura (los ingresos por venta de billetes sobre el coste unitario por trayecto) la A2 es mejor que la A1. En efecto, la configuración más consolidada permite una mejor financiación y exige una subvención pública menor, cubriendo la venta de billetes el 80% del coste por trayecto que es a su vez menor.



*Ilustración 55: Configuración elegida para implantar Flexicas (fuente: elaboración propia)*

**La configuración elegida del nuevo TAD Flexicas para la mejora de la movilidad de Castellón de la Plana es la A2 (Ilustración 55), presentando una zona servida mayor, beneficiando a más usuarios, con un coste y una flota similares y presentando una financiación menos impactante para las arcas públicas.**

## 7.9 Evolución de las variables utilizadas

Las diferentes zonas anteriormente caracterizadas y que, estructuradas en configuraciones y tras la aplicación del modelo de implantación, han permitido determinar el diseño de TAD que minimiza el coste total, corresponden a una imagen estática de la ciudad. En efecto, los valores escogidos para las variables de las zonas representan aproximadamente la situación actual del entramado urbano, la demanda y los vehículos disponibles.

Todas estas variables son susceptibles de sufrir evoluciones naturales o planeadas que afectarían a la optimización realizada. Realizamos por ello algunas pruebas de sensibilidad para determinar la robustez de la implantación, validar la configuración escogida y evaluar cómo responde a evoluciones que podrían volverla obsoleta.

Se presentan a continuación las distintas evoluciones, siendo cada una independiente de las demás, y manteniéndose los INPUTS del modelo que no se hacen evolucionar. Se definen realista y razonablemente los intervalos de evolución de las variables implicadas y en cada prueba obtengo la variación del mínimo coste total que puede obtener para cada zona y que condiciona la elección de modalidad y por consiguiente de configuración a implantar. Para evitar un desarrollo de excesiva densidad, nos limitaremos a presentar las zonas donde estas evoluciones tengan un impacto y a explicar cómo afectarían a la implantación final. Habiendo sido la modalidad C la más utilizada, el interés de estas evoluciones será ver a partir de cuándo lo son las otras 2.

### 7.9.1 Evolución de la densidad de demanda

Una de las limitaciones de este proyecto ha sido la ausencia de un estudio de demanda preciso para Castellón sobre el que basar la densidad de demanda. Difícilmente cuantificable sin la existencia de encuestas de reparto y reporte modal se ha utilizado una estimación que ha servido para obtener unos primeros resultados de implantación.

No pudiéndose establecer cuál será la evolución real y considerándose la estimación como correcta, realizamos una evolución de la variable que caracteriza la densidad de demanda con fines meramente académicos. Esta prueba de sensibilidad está compuesta de un total de 20 evoluciones con valores  $N$  a  $20 \cdot N$ , siendo  $N$  el valor inicial (15 pax/ km<sup>2</sup>-h). La demanda varía pues de 15 a 300 pax/km<sup>2</sup>-h con intervalos de 15 pax. A efectos prácticos, esta variación implica una evolución del objetivo de mercado del 2 al 41% del total de usuarios potenciales, tratándose de valores irreales para un servicio de TAD recién implantado y en una ciudad como Castellón.

En este contexto, y tras haber realizado un primer tanteo, puede afirmarse que ante un aumento de demanda, la modalidad C responderá en principio con un aumento del número de vehículos y que la modalidad B será incapaz de ofrecer un servicio eficiente en zonas de ancho importante, siendo este el caso en la mayoría de zonas de Castellón.

Por todo ello, y partiendo de una evolución irreal de la demanda que difícilmente podría producirse, se ha decidió enfocar esta prueba como una profundización en el modelo de optimización, pero cuyos resultados son de interés para la implantación de sistemas TAD. Mas precisamente, se analiza a continuación como el aumento de la demanda afecta a la modalidad A, la menos flexible pero también la más sensible por este tipo de variaciones. La Ilustración 56 muestra los resultados obtenidos tras aplicarse la evolución de demanda descrita a la zona TAD Alcora, única con la modalidad A, común a todas las configuraciones y utilizando el enfoque A.

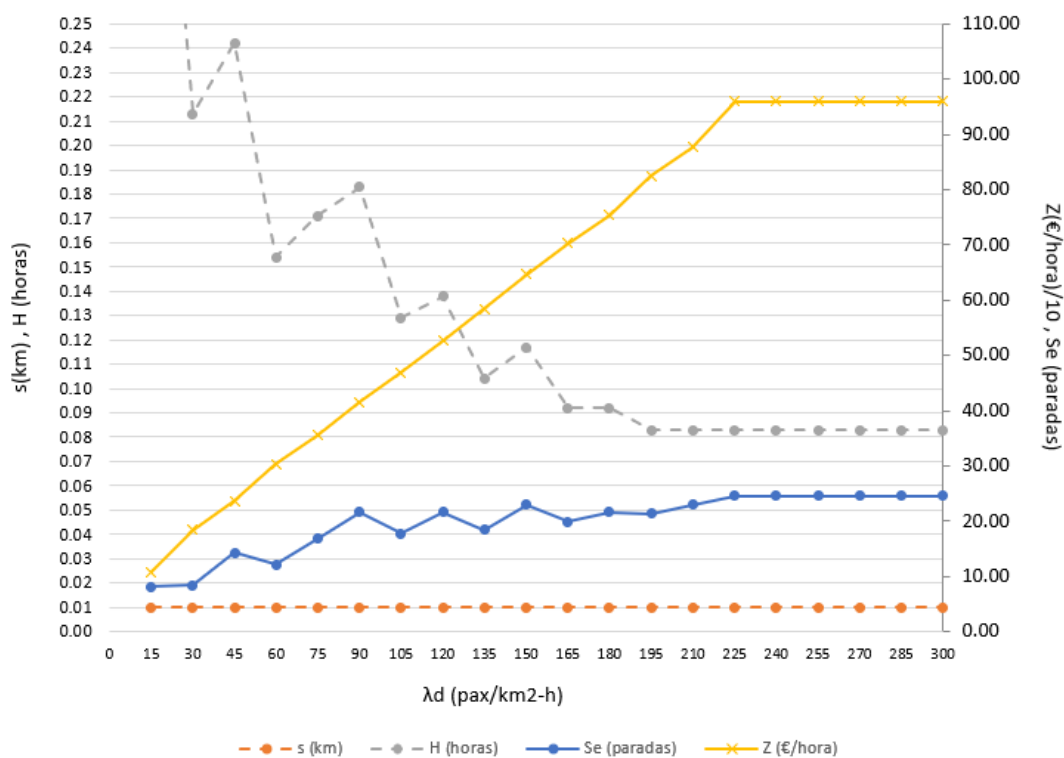


Ilustración 56: Evolución de la demanda (fuente: [8], elaboración propia)

Analizando la gráfica, se observa un fenómeno ya identificado por el profesor Estrada y de interés para la implantación de servicios de TAD con la modalidad A. Para demandas muy bajas, la separación óptima entre paradas variables de esta línea fija (s) será grande, pudiendo alcanzar los 100m. Sin embargo, para demandas pequeñas como en Castellón, la modalidad A establece por lo general una separación optima de paradas variables (s) en 10m, resultados obtenidos en la implantación. Esto no implica que el vehículo que circula por la línea fija parará cada 10m, sino que los posibles usuarios dispondrán de un servicio “puerta a puerta” desde su acceso al corredor

dijo. Por otra parte, la cantidad de paradas que el bus realizará en cada sentido queda establecida por la variable  $Se$ .

Según la demanda va aumentando, puede observarse como si bien  $S$  se mantiene estable en 0.01km, la variable  $Se$  empieza a crecer. Un aumento ilimitado del número de paradas efectivas sería operacionalmente insostenible, pudiendo llegar a una parada cada 10m. En este sentido, el modelo compensa el aumento de demanda con una reducción del intervalo de pasado, manteniendo relativamente estable el  $Se$ . Sin embargo, se ha establecido 5 min como el intervalo mínimo, por lo que, llegado a este punto, y si la demanda sigue aumentando, para evitar de nuevo un aumento incontrolado del número de paradas, se fuerza la agrupación de los pasajeros en paradas predefinidas.

Ante el aumento de la demanda, la modalidad A pasa de calcular la separación óptima entre paradas permitiendo un servicio de proximidad a establecer paradas fijas según la demanda y forzando el acceso de los pasajeros desde estas. A partir de 225 pax/km<sup>2</sup>-h el servicio TAD con línea fija pero paradas flexibles se convierte en una línea fija tradicional, con intervalos, coste total, y cantidad de paradas efectivas constantes. Esto se mantendrá hasta la saturación de la línea.

Se observa pues como la línea TAD Alcora, establecida como modalidad A, responde bien a un aumento de la demanda, pero, al alcanzar un nivel determinado, debería ser reemplazada por una línea fija. Esto es lógico teniendo en cuenta la forma de la zona y que el Transporte a la Demanda es apto para zonas de baja demanda o irregular. Debe tenerse siempre en cuenta cuales son los límites de cada modo de transporte e implantar el que sea más eficaz para cada circunstancia. Tener presentes posibles evoluciones de demanda ayudará a determinar el intervalo de validez del TAD y a partir de qué punto debe convertirse en una línea fija.

### 7.9.2 Evolución del tamaño de los vehículos

La variación del número de plazas por vehículo afecta igualmente a su aceleración y de los costes espaciales y temporales. Se estudia pues como la evolución de estas variables afecta a la optimización según los valores de la Tabla 26:

		Valor inicial	Evolución 1	Evolución 2
Capacidad de los vehículos	C (pax)	8	6	4
Aceleración	a (m/s <sup>2</sup> )	0.9	1.1	1.3
Coste unitario por km	cd (€/veh-km)	0.5	0.35	0.2
Coste unitario por hora	ct (€/veh-h)	30	25	20

Tabla 26: Valores de la evolución de los vehículos (fuente: elaboración propia)



Siendo la unidad el máximo de pasajeros que puede transportar un vehículo de la modalidad C en cada trayecto, esta evolución afectará únicamente a las modalidades A y B. Partiendo de los valores iniciales utilizados y observando que cuando se han escogido como modalidad de menor coste total presentaban una ocupación media de entre 1.6 y 1.9, se apuesta por una evolución a la baja hasta utilizar vehículos de turismo del mismo tamaño que los de la modalidad C (4 pasajeros) y por lo tanto con los mismo costes.

Se presenta a modo de ejemplo la evolución de las modalidades optimas y el coste total para cada una de las zonas de la configuración A1. El mismo proceso se ha repetido para las otras 5 pero habiéndose obtenido resultados similares se descarta su presentación. La Tabla 27 muestra los resultados obtenidos.

		TAD Mar.	TAD S-E	TAD Sur	TAD Alma.	TAD S-O	TAD Oeste	TAD Alcora	TAD N-O	TAD Peny.	TAD N-E	TOTAL 1H
Valor inicial	Mod.	B	C	C	C	C	C	A	C	C	C	
	Cos. total	154.40	49.30	46.43	87.41	84.10	45.33	107.78	55.82	81.55	51.80	763.89
Evolución 1	Mod.	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	
	Cos. total	131.26	46.55	41.22	77.32	78.31	38.77	94.55	53.62	75.26	47.96	684.82
Evolución 2	Mod.	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	
	Cos. total	107.87	36.91	32.64	63.62	65.98	30.72	81.84	43.27	62.91	38.32	564.08

Tabla 27: Modalidades y costes totales por evolución y zona (fuente: [6], e. propia)

Los resultados son concluyentes en si mismos. Puede observarse como según se va disminuyendo el tamaño de los vehiculos el coste total del sistema se reduce progresivamente como consecuencia de una reducción de los costes operacionales. Además, la modalidad C, la mejor en la mayoría de las zonas para los valores iniciales, es substituida por la B que, con mayor o menor ventaja se impone en todas las zonas. Debido a esta sustitución de la C por la B, los costes de usuario aumentan por el aumento de los tiempos de trayecto, al dejar de ser directos e implicar desvíos para la recogida y entrega de otros pasajeros. Sin embargo, esta subida no tan fuerte como la bajada del coste operacional, por lo que el coste total del sistema es mejor.

En lo que respecta al coste total de la configuración, se produce una rebaja promedio del 13.5% de una evolución a la otra o lo que es lo mismo, de 50€ por cada asiento sustraído de todos los vehículos. Con esto, y reproduciéndose el mismo comportamiento en todas las configuraciones, la escogida anteriormente para la implantación sigue siendo la más adecuada, pero con un coste total horario inferior si se reducen las plazas.

Así pues, esta evolución demuestra la importancia de escoger vehículos con una capacidad adecuada a la demanda que se desea servir. En un servicio a la demanda, los vehículos de gran capacidad no serán necesarios si no lo exige la demanda. Escoger vehículos más pequeños permite implantar modalidades con un grado inferior de flexibilidad pero que garantizan un nivel servicio suficiente y sobre todo que permiten reducir los gastos de operación, uno de los objetivos de implantar un TAD.

En muchos casos el operador dispondrá de los vehículos previa implantación del servicio a la demanda, los cuales serán generalmente de tamaño tradicional. En estos casos, será importante determinar si la asunción de una inversión inicial en la compra de vehículos nuevos más pequeños queda compensada a largo plazo por la reducción de los costes de operación y cuál es el periodo de retorno estimado a que debe atenerse.

### *7.9.3 Otras evoluciones posibles*

Además de las 2 evoluciones o pruebas de sensibilidad realizadas, escogidas por su pertinencia con respecto a los resultados obtenidos de la aplicación del modelo de implantación, existen otras posibles cuya realización hubiera sido interesante y que deben considerarse para futuros análisis.

Así pues, como se ha explicado en la descripción del modelo en el punto anterior a la realización del caso aplicado, podría haberse realizado, por ejemplo, una evolución de la velocidad de cruce (variable INPUT). Medidas como la preferencia semafórica o los carriles dedicados, que serán discutidas en el punto siguiente, pueden tener un impacto directo en la optimización y elección de la configuración. En un primer tiempo, la implantación del TAD no implica estos cambios en la política de movilidad, por lo que esta evolución no es necesaria.

Igualmente, podría haberse estudiado la evolución del tipo de usuario. La edad media de los usuarios puede afectar al tiempo de subida, al tiempo de acceso a pie, al tiempo para pagar y el valor del tiempo. Esto implicaría una evolución conjunta de varias variables INPUT del modelo que, sin embargo, se caracterizan por ser subjetivas y difícilmente cuantificables.

Finalmente, podría haberse planteado una evolución de la tarificación. Esta impacta sobre el coste total y condiciona pues la configuración óptima. Tratándose sin embargo de un servicio público con una componente social destacable, el tema de la financiación y las subvenciones se trata únicamente en el análisis de resultados con fines informativos.

Todas estas evoluciones hubieran podido afectar a la modalidad escogida para cada zona de TAD y a los resultados globales de cada una de las configuraciones, pudiéndose determinar en qué intervalos de valores de la variable o variables en evolución es mejor cada una de las configuraciones.

## **7.10 Análisis final de la implantación**

Concluimos la implantación del TAD para la mejora de la movilidad de Castellón con este breve análisis del proceso seguido y los resultados obtenidos. Se hará una recapitulación de los pasos seguidos, los límites de la aplicación y los beneficios que esta implantación aporta, sin olvidar el interés de las evoluciones hechas.

Sin olvidar la limitación de no disponer de un estudio de demanda a ser utilizado para la definición de los inputs, el potencial del modelo de optimización y la pertinencia del de implantación desarrollado en este proyecto, así como el rigor de su aplicación, permiten afirmar que los resultados son correctos y la elección válida. Los estudios urbanísticos y de movilidad realizados, con sus limitaciones por el nivel de detalle alcanzado, han sido necesarios y suficientes para la aplicación del modelo y han sido la base de los inputs utilizados. Así pues, y tras haber analizado detalladamente los resultados globales de las diferentes configuraciones, se ha seleccionado la configuración A2 para implantar el TAD en Castellón. Gracias a una ligera consolidación y a una mejor gestión de las áreas de la ciudad, se minimizan los costes totales, garantizando una cobertura adecuada y un número de kilómetros y de vehículos razonables.

Siendo de interés la selección de la configuración óptima lo son también las evoluciones propuestas. En efecto, se ha observado como la correcta elección del tamaño de vehículos condicionaría las modalidades de cada zona y sobre todo el coste final. El caso aplicado a Castellón demuestra el interés de utilizar vehículos pequeños para la implantación del TAD, con un número de plazas suficiente para permitir la ocupación requerida, pero sin exceder en los gastos fijos y variables excesivos que implican los vehículos grandes. Los modelos flexibles en general y en concreto la implantación del TAD en Castellón no precisa de vehículos grandes. Igualmente, la evolución de la demanda demuestra los límites del TAD y la importancia de ser realista con su aplicación. La realización de un buen estudio de demanda sería necesaria para determinar los principales flujos y evitar reemplazar líneas fijas por TAD cuando la densidad de usuarios lo aconseje. Se ha observado pues, como en el caso del TAD Alcora, un aumento de la frecuentación acabaría convirtiendo la línea flexible en fija. Otras evoluciones han sido planteadas

cuya realización queda pendiente para futuros estudios de implantación u evolución del modelo de TAD para esta misma ciudad.

Sobre los resultados anteriormente expuestos y debidamente comparados, algunas reflexiones y precisiones complementarias son posibles. Mencionar en primer lugar que el área indicada en las tablas de resultados y utilizada para calcular los costes por km<sup>2</sup>, y consecuentemente por usuario, es el área real de cada una de las zonas. Esta difiere por lo tanto de la teórica o modelizada, utilizada en la aplicación del modelo de optimización. En el proceso de implantación, se ha obtenido el área real y se ha aproximado la teórica en la medida de lo posible, utilizando como input la teórica y como output la real. Esto no es incorrecto por haberse usado el mismo criterio para todas las configuraciones y permite dar una visión más realista de los resultados finales. Se trata pues de una elección con fines comparatorios pues usar para tal fin el área real permite compensar la inexactitud aportada por el hecho de estar modelizando la realidad. Como consecuencia, el coste por trayecto promedio y el factor de cobertura promedio no coinciden con el coste del operador dividido entre el número de usuarios.

Finalmente, una reflexión debe hacerse sobre la tarificación y el modelo de negocio del nuevo sistema implantado. No habiéndose tratado específicamente en la aplicación para Castellón, se ha tenido sin embargo en cuenta el factor de cobertura y el coste por usuario en la elección final. Este último permite calcular la financiación mínima para la operación del servicio y el primero la parte costeada por los propios usuarios. Siendo el objetivo de este caso aplicado el diseño de un servicio de TAD complementario y suplementario al servicio público de transporte, y por lo tanto formando parte de esta oferta, las tarifas por trayecto no deben exceder valores razonables para la ciudad. Esta pues entre las responsabilidades de las instituciones públicas el aportar la subvención necesaria para costear la parte del coste que no puede afectarse a los usuarios. Un TAD, si bien más flexible y eficiente que una línea fija poco frecuentada, tiene un coste y debe asumirse como necesario desde el inicio de la reflexión sobre una implantación si se quiere completar con éxito. Un estudio de la política de gasto sería un complemento adecuado para este proyecto y para el TAD de la ciudad de Castellón.

Concluimos así el estudio de implantación de Flexicas, el servicio de TAD de Castellón que puede jugar un papel clave en la mejora de la movilidad urbana. Si bien resulta difícil cuantificar esta mejora, si puede afirmarse que garantizaría una mejor cobertura, una mayor eficiencia y un modo de transporte capaz de competir con el vehículo privado.

## 8. Implantación real de un servicio dinámico

En este proyecto se ha desarrollado y aplicado un modelo simple de implantación de TAD que, utilizando los modelos de optimización de Miquel Estrada et al (2019) [8], permite seleccionar la configuración que mejor se adapta a las necesidades de una ciudad. Si bien su aplicación en la mejora de la movilidad de la ciudad de Castellón ha resultado en el diseño de un servicio global de TAD cuya robustez y validez ha sido constatada por las pruebas de sensibilidad, existen varios aspectos que han sido ignorados a lo largo del proceso.

Este último previo a la conclusión pretende esclarecer los elementos a tener en cuenta en un proceso de implantación real y que no siempre quedan reflejados en un modelo teórico. Las reflexiones que aquí se transcriben son fruto de la experiencia propia como *Customer Success Manager* y *Transportation Engineer* de la empresa *Padam Mobility* [44], uno de los líderes europeos en implantación de servicios de Transporte a la Demanda.

### 8.1 Generalización y límites de los modelos

Los modelos matemáticos tienen la ventaja de que pueden ser fácilmente generalizados y aplicados a otros casos sin modificaciones importantes. Así, nuestro modelo ha sido aplicado al caso de Castellón como lo habría podido ser a cualquier otra ciudad con solo modificar el análisis demográfico, urbano y de movilidad habiéndose obtenido valores diferentes de las variables características de las zonas.

Esta simplicidad es una ventaja, pero también una limitación. Los modelos crean representaciones de la realidad que, ante una escasez importante de datos o una realidad excesivamente compleja, no son lo suficientemente fieles y pueden ofrecer resultados erróneos. En la generalización y aplicación del modelo a otros casos habrá que tener en cuenta estos límites e identificar cuando los resultados obtenidos son solo una referencia y no concluyentes. Un buen análisis de la ciudad como el que aquí se ha realizado, contactar a los actores locales y tener un conocimiento personal del territorio serán elementos clave para la aplicación de un modelo matemático de implantación, que como se verá a continuación, no siempre es válido ni es la única solución posible.

### 8.2 La implantación directa como alternativa

Cuando los modelos no pueden ser aplicados deben buscarse alternativas que permitan evitar implantaciones nefastas de servicios de TAD. En el caso de Castellón, la ausencia de un

estudio de demanda, de datos de movilidad completos, de encuestas de aceptación e inducción de demanda y la complejidad del entramado, hubieran podido invalidar la aplicación del modelo sino se hubiera tenido un conocimiento personal del territorio y haber obligado a buscar alternativas. Esta ausencia de datos completos es una constante en la mayoría de territorios por lo que no es una cuestión aislada sino bastante frecuente.

En ausencia de resultados teóricos fiables o para validarlos si son dudosos, la mejor alternativa es la implantación directa de un servicio real en fase de prueba. Una buena experimentación cuyos costes operaciones se calculen y limiten previo lanzamiento puede ser tan o más valiosa que un estudio teórico. Evitando la modelización y sus errores de “traducción”, las experimentaciones permiten obtener datos reales de operación, aceptación y eficiencia, determinando no solo si el servicio responde a los objetivos sino justificar la inversión realizada. Para un periodo lo bastante largo (al menos 6 meses) se podrán además estudiar las tendencias y si se realizan modificaciones progresivas determinar la mejor de las configuraciones. Al final del periodo se evalúa la continuidad.

Finalmente, como esta forma de proceder utiliza la propia implantación como fuente de información para una implantación a largo plazo, permiten sobrepasar tempranamente los tradicionales escepticismos técnicos y las dudas políticas, frenos habituales a las moviidades innovadoras, dando vía libre a la voluntad de actuar y de cambiar las cosas.

### 8.3 El valor de la experiencia

El proceso de implantación, tanto si se opta por modelos matemáticos como por aplicaciones directas, implica asumir ciertos riesgos en una toma de decisiones sobre la que la mayoría de operadores y autoridades disponen de conocimiento limitado. Es en este contexto e impulsadas por el desarrollo tecnológico que han surgido en los últimos años empresas especializadas en la implantación de servicios de Transporte a la Demanda bajo el modelo B2B y Software As A Service (SAAS). Entre ellas se encuentra la empresa francesa *Padam Mobility* [44], la española *Shotl* o la americana *Via*, entre otras.



Ilustración 57: Logo de Padam Mobility (fuente: [44])

Estas empresas desarrollan softwares comerciales de optimización de TAD, planificación de rutas y gestión automática de reservas, todo ello en tiempo real y que ponen a disposición de los operadores tradicionales. Las ventajas de utilizar este tipo de soluciones son evidentes pues, más allá de su fácil y rápida implantación, al tratarse de productos en contante desarrollo y perfeccionamiento, dan lugar a servicios de enorme potencial. Sin embargo, si hay un valor que aportan estas empresas y que destaca, ese es la experiencia. Nacidas como startups, su rápido desarrollo e implantación en múltiples territorios les da acceso una base de conocimiento y experiencia que puede ser más fiable que un modelo matemático o una implantación directa.

Por otra parte, aunque estas empresas pueden ser valiosos aliados para garantizar la implantación de servicios de altas prestaciones que maximicen la eficiencia y el nivel de servicio minimizando los costes operacionales, el coste de sus soluciones puede ser un motivo de duda. Es aquí donde entra en juego una vez más la voluntad de actuar y de hacer las cosas mejor, así como el valor para apostar por un modo de transporte innovador y tecnológicamente avanzado que hasta ahora ha sido poco o mal implantado en España, pero por el que muchos ayuntamientos con presupuesto limitado están postando en Europa. En termino absolutos los costes de un servicio TAD de altas prestaciones pueden alcanzar valores similares a los de las líneas fijas, pero el número de ciudadanos beneficiados, el nivel de servicio ofrecido y la optimización de recursos será muy superior. Cualquier inversión de este tipo precisará de una apuesta clara y decidida.

#### **8.4 Medidas complementarias**

Finalmente, presentadas las diferentes alternativas para la implantación eficaz de un servicio real, procedemos a mencionar ciertos aspectos complementarios a tener en cuenta. En efecto, estos proyectos de TAD, que tienen por objetivo ayudar en la mejora de la movilidad urbana y fomentar un cambio de tendencias que conduzca a una ciudad sostenible e inteligente, no pueden actuar solos y deben ir acompañados de diversas medidas externas que van desde cambios en la planificación urbana y la gestión del tráfico hasta la modernización tarifaria o los métodos de pago. Se presenta a continuación una lista con algunos ejemplos de estas medidas observadas y recopiladas durante la experiencia profesional en el sector [44] y cuyos beneficios son evidentes:

- *Prioridad semafórica inteligente*: esta medida consiste en dar prioridad en los cruces a los servicios de transporte público frente a los vehículos privados. Implica la instalación de Sistemas Inteligentes de Transporte (SIT) capaces de gestionar los flujos automáticamente y en tiempo real. Su implantación precisa de estudios de tráfico detallados a escala microscópica para minimizar impactos.

- *Vías o calles reservadas*: debería generalizarse el uso de la plataforma reservada del *Tram* por las líneas fijas que sigan trayectos similares. Además, deben crearse nuevas vías reservadas donde la densidad de tráfico u la estructura urbana lo justifiquen para agilizar y mejorar los servicios públicos. El TAD puede beneficiarse también de calles reservadas.



Ilustración 58: Vía reservada del Tram de Castellón  
(fuente: Historias del tren)

- *Restricciones al vehículo privado*: necesarias como complemento a la potenciación del transporte público. Estas pueden afectar a la circulación (prohibiendo el acceso a algunas zonas a ciertos vehículos o cobrando por ello, eliminando carriles...) o al estacionamiento (reduciendo las plazas en superficie). La creación de vías reservadas puede exigir de este tipo de medidas.
- *Transformación tecnológica*: un TAD de altas prestaciones ya lo contempla, pero debe generalizarse al conjunto de la red el uso del SAE en las paradas y el desarrollo de Apps que permitan, por ejemplo, el pago online, agilizando el acceso a los vehículos y minimizando el tiempo de parada. Para líneas fijas en servicio de noche, la salida del vehículo podría realizarse únicamente previa reserva.
- *Coordinación horaria*: para la potenciación de los transbordos y entre todos los servicios existentes, tanto entre fijas con trayectos similares o cabeceras compartidas, como con el TAD. En el caso de un servicio de noche este debe coordinarse con los de día, que pueden ampliarse.
- *Unificación del transporte público*: a largo plazo, y con el objetivo de desarrollar un MaaS que permita maximizar el nivel de servicio con la operación conjunta. Las líneas fijas y el TAD deben tener la misma tarificación, permitiéndose la intermodalidad y los transbordos, y la debe crearse una única tarjeta de transporte recargable que simplifique el uso del servicio y su unificación.
- *Autoridad del transporte metropolitano*: crear o reforzar este actor público que garantice la unificación y coordinación entre servicios antes mencionadas.
- *Promoción*: además de mejorar el servicio, deben lanzarse fuertes campañas publicitarias, promociones comerciales y otras facilidades para fomentar el cambio cultural y que el transporte público llegue a más demanda que la cautiva.



Ilustración 59: Tarjeta universal Navigo de París (fuente: CNews)



## 9. Conclusiones

Concluimos este proyecto sobre la implantación del TAD en la mejora de la movilidad urbana con una reflexión global sobre todo los elementos tratados, cuyos análisis y conclusiones parciales ya han sido realizados anteriormente. Junto a esta conclusión global, se resumirán los desarrollos realizados, las aportaciones al campo de la movilidad en general y del Transporte a la Demanda en particular, los límites del modelo y su aplicación, así como posibles desarrollos futuros.

De todo lo observado a lo largo del proyecto puede afirmarse que, si bien difícilmente cuantificable y sin por ello estar sujeto a debate, globalmente el Transporte a la Demanda tiene, junto a otras soluciones complementarias y suplementarias, un papel potencial a jugar en la mejora de esta la movilidad urbana. Recapitulando lo ya mencionado, se trata de un modo de transporte flexible, sencillo a comprender, fácil a implantar y de inevitable aceptación pues, bien diseñado, permite minimizar los costes totales, mejorando la accesibilidad y la consolidación de territorio aumentando la rentabilidad de los, por definición, deficientes servicios públicos.

Sin embargo, para que su implantación sea un éxito y puedan obtenerse soluciones adecuadas a problemáticas clave, es de máximo interés utilizar modelos de optimización e implantación como los que aquí se han presentado y desarrollado, respectivamente. Pareciendo una cuestión trivial, no lo es, y la historia está llena de casos de servicios de Transporte a la Demanda que, con enorme potencial y partidas presupuestarias destacables, no supieron integrarse en una oferta de movilidad a menudo dominada por el vehículo privado. Tener un buen conocimiento de las herramientas disponibles, estudiar detalladamente el territorio y comprender sus necesidades, traducirlas en posibles aplicaciones de TAD y proponer varias modalidades, enfoques y configuraciones, se convierten en tareas básicas para dar con la configuración de TAD adecuada para solucionar los problemas de un territorio determinado.

El caso aplicado de Flexicas, servicio propuesto para la ciudad de Castellón, es en parte una validación práctica de todo lo mencionado, pero sobre todo una apuesta personal de un ingeniero local que desea ver su ciudad convertida en un ejemplo de sostenibilidad e integración, donde ninguna zona ni ciudadano queden privados del derecho a la movilidad.



*Ilustración 60: Castellón, territorio del caso aplicado  
(fuente: Castelló Virtual)*

## 9.1 Desarrollos y aportaciones del TFM

En este TFM se han tratado y en gran medida satisfecho todas las temáticas y objetivos planteados desde su nacimiento a principios de año. La búsqueda bibliográfica sobre el tema ha permitido crear una importante base de conocimiento que, si bien no ha podido ser integrada al completo en este proyecto, queda a disposición propia y los lectores que precisen de ella. Se han incluido tanto artículos sobre el TAD urbano como rural, siendo las problemáticas del primero para las cuales es una solución y las zonas potenciales para su implantación un reflejo u traducción de las de mayor magnitud que se observan en el segundo. Igualmente, se ha reflexionado sobre las capacidades de este modo de transporte a la vez tradicional e innovador y se ha hecho un inventario de motivaciones y razones por las que se considera apto en la mejora de la movilidad y se apuesta por él.

En la parte central del proyecto, se han presentado dos modelos, uno clásico de demanda y otro originario de la UPC, el modelo de optimización y elección de modalidad desarrollado por Estrada et al (2018) [8], tutor de este TFM. Sin embargo, la aportación principal de este TFM es el modelo de implantación desarrollado y su posterior aplicación en Castellón. Siendo un modelo simple y pautado, que no busca desarrollos nuevos sino asentar las bases para una correcta implantación, su aplicación ha permitido comparar hasta 6 configuraciones distintas. En el caso aplicado de Castellón, además de determinar que la configuración A2 es la más adecuada para ofrecer un servicio integral, se han realizado dos estudios previos necesarios para definir la implantación y que aportan un gran valor para futuros proyectos que se interesen por esta ciudad media española.

Como última aportación destacable, el proyecto contiene numerosas reflexiones personales, fruto del conocimiento de la ciudad como ciudadano local y de mi creciente experiencia profesional como ingeniero de *Padam Mobility* [44], empresa dedicada a la implantación de TAD.

## 9.2 Límites del modelo y de su aplicación

El proyecto no ha estado exento de límites y elementos ausentes que innegablemente condicionan su validez y que deben tenerse en cuenta para futuros desarrollos.

La ausencia más evidente ha sido la ausencia de un estudio de demanda. Esto es frecuente en ciudades de tamaño medio y pequeño que, no solo no disponen de los recursos suficientes para realizarlos, sino cuyo aporte al conocimiento local tiene una envergadura menor. Se ha hecho una estimación de la demanda que, no siendo exacta, ha permitido obtener unos resultados correctos. A esta ausencia debe añadirse la falta de datos de movilidad fiables. En efecto, no ha podido

conocerse el reparto modal actual exacto de cada modo de transporte ni, sobre todo, el reporte modal que implicará la creación de un TAD como el que se plantea por la falta de encuestas, algo a considerarse en futuras evoluciones o continuaciones del proyecto. En cualquier caso, la ausencia de estos datos exactos no condiciona la validez del proyecto, los valores utilizados son correctos y fruto de una estimación razonable y el modelo ha quedado validado, precisando únicamente de inputs más precisos si se llevara a cabo una implantación real.

En lo que respecta a los límites de la geografía, por el diseño actual del modelo de optimización, se ha tenido que considerar cada zona como independiente, no existiendo ninguna coordinación entre ellas. Además, en un límite propio de las modelizaciones matemáticas, las zonas reales han sido simplificadas y consideradas como zonas teóricas, por lo que, si bien fielmente diseñadas, no representan exactamente la realidad. Desde un punto de vista de la financiación, por motivos de planteamiento, no ha podido tratarse en detalle la temática de la tarificación, más allá de la mención realizada a los factores de cobertura y el coste unitario por trayecto, motivo de la elección final de configuración.

Finalmente, por todos los límites y ausencias anteriores, no ha podido determinarse cuantitativamente la mejora de la movilidad urbana aportada por el TAD ni determinar con exactitud, más allá de los aspectos descritos y las valiosas reflexiones aportadas, el ahorro real de su implantación. Puede sin embargo afirmar que su implantación es positiva, permite reducir costes, cubrir el territorio y dar más y mejor accesibilidad.

### **9.3 Futuros desarrollos y evoluciones**

En el apartado de futuros desarrollos, además de aquellos que permitan sobrepasar los límites anteriormente expuestos, son varias las posibles evoluciones y proyectos alternativos u complementarios que podría desarrollarse.

En primer lugar, podría plantearse una definición y comparación de configuraciones a partir de la densidad variable del número de paradas, directamente relacionada con el tiempo a pie, completando u reemplazando a la actual, basada en el tamaño y consolidación de las zonas potenciales. Igualmente, podrían plantearse y desarrollarse nuevas modalidades de TAD, complementando a las existentes y permitiendo cubrir un mayor número de posibles casos de aplicación.

En una perspectiva más a largo plazo, podría plantearse una optimización conjunta de todas las zonas de la ciudad. Actualmente, las zonas TAD son independientes, pero si se estudia la movilidad global, con orígenes y destinos reales, debería estudiarse los transbordos entre varios TAD y con las líneas fijas en un único trayecto. Esto implicaría el desarrollo de un código de asignación complejo e implicaría pasar de una optimización macroscópica del coste total al estudio microscópico de la creación de rutas. La asignación y evolución del sistema bajo varios modelos permitiría una elección de configuración global para toda la ciudad. El algoritmo probaría todas las combinaciones de modelos y, aplicando la demanda, determinaría que modalidad funciona mejor en cada zona teniendo en cuenta las demás. Siendo complejo, no es apto para un TFM.

En la misma línea, pero partiendo de que cada zona es independiente de las demás, se podría implantar un TAD en cada una de ellas, pero mejorando el proceso de optimización y aumentando el número de variables de diseño. Esto hubiera convertido el proceso de optimización de cada zona en la elección de una entre muchas opciones por la combinación de todas las posibilidades. Hubiera implicado importantes desarrollos numéricos y sus dimensiones exceden igualmente el caso aplicado y objetivos del TFM.

#### **9.4 Reflexión personal**

Para finalizar el proyecto, realizamos una breve reflexión final sobre el transporte urbano en general y el TAD en particular.

Como se ha mencionado a lo largo de este TFM, el transporte es un elemento clave de la vida de cotidiana de muchas personas. Las sociedades evolucionan y las necesidades cambian y para seguir siendo competitivo este debe experimentar un constante proceso de actualización. Es estatismo y confort que muchas veces se emana de las instituciones públicas y los actores privados no son sino el resultado de un conformismo arropado por la aceptación de la realidad actual y por lo tanto del vehículo privado. Un mundo sostenible pasa decididamente por una apuesta por las ciudades como modelo de desarrollo económico en detrimento de otras opciones que garantizan una mayor calidad de vida a costa de exigir mayores necesidades de desplazamiento. Este necesario potenciamiento de las ciudades no puede darse si los trasportes urbanos no están preparados para ello y los modelos rígidos actuales, que no solo no ofrecen una movilidad universal espacial y temporalmente, sino que son incapaces de competir con los modos privados, no ofrecen un panorama muy esperanzador del futuro de las ciudades.

Proyectos como la “Nova Xarxa de Bus” de Barcelona o “Grand Paris Express” de Paris son ejemplos de que cuando existe la voluntad de actuar y sobre todo la convicción de lo que se quiere hacer, cualquier inversión es pequeña si esto responde a una necesidad o anticipa otras. En el campo del TAD, pilotos como el de Torre Baró, cuya extensión a otras zonas de Barcelona se está estudiando [38] o el servicio Résa’TAQ, en Orleans, cuya implantación inicial localizada ha sido recientemente extendida al conjunto de la ciudad [44], demuestran el potencial y éxito de esta



Ilustración 62: Logo AMTU (fuente: AMTU)

solución, ya no solo para las zonas rurales sino también para las urbanas menos accesibles. Iniciativas como Flexitransport Catalunya, anunciada recientemente por la *Associació de municipis per a la Mobilitat i el Transport Urbà (AMTU)* [39], inspirada en otras implantaciones europeas a escala local o regional como TAD IDFM en la región de Paris [44], deben servir como ejemplo para seguir avanzando en la dirección correcta. Las ciudades medias como Castellón precisan de revoluciones en movilidad y no pudiendo ni necesitando realizar grandes inversiones, el Transporte a la Demanda se presenta para ellas como una opción que no debe ser ignorada y cuya simple implantación ofrece un enorme potencial.



Ilustración 61: Logo TAD IDFM (fuente: IDFM)

El tiempo dirá si *Flexicas* se convierte en una realidad, pero, en cualquier caso, cada una de las líneas de este proyecto ha sido escrita con la esperanza de que España dé un paso en paso firme hacia la movilidad sostenible y el MaaS que otros países ya están dando. Todas las conclusiones y reflexiones de este y cualquier otro TFM, artículo científico o encuesta quedan a la disposición de las autoridades locales y otros actores competentes. Todo ello, con la esperanza de que sirvan de referencia en la correcta toma de decisiones que permita al TAD participar en la mejorar de la movilidad urbana y poder reflexionar más adelante acerca del pasado, presente y futuro de la movilidad castellanense.

## 10. Referencias bibliográficas

- [1] Bayne, A.; Siegfried, A.; Stauffer, P.; Knudson, A. (2018). "Promising practices for increasing access to transportation in rural communities". *The Walsh Center. NORC at the University of Chicago*. Disponible en [http://www.norc.org/PDFs/Walsh%20Center/Rural%20Evaluation%20Briefs/Rural%20Evaluation%20Brief\\_April2018.pdf](http://www.norc.org/PDFs/Walsh%20Center/Rural%20Evaluation%20Briefs/Rural%20Evaluation%20Brief_April2018.pdf)
- [2] Daganzo, C.F. (2010). "Structure of competitive transit networks". *Transportation Research Part B: Methodological*. Vol. 44, pag 434-446. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.trb.2009.11.001>
- [3] Davison, L.; Enoch, M.; Ryley, T.; Quddus, M.; Wang, C. (2012). "Identifying potential market niches for Demand Responsive Transport". *Research in transportation business & management*. Vol. 3, pag 50-61. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2012.04.007>
- [4] Davison, L.; Enoch, M.; Ryley, T.; Quddus, M.; Wang, C. (2014). "A survey of Demand Responsive Transport in Great Britain". *Transport Policy. Elsevier*. Vol. 31, pag 47-54. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2013.11.004>
- [5] Delgado, J.; Martínez, L. (2016). "El Transporte a la Demanda como sistema de movilidad alternativo en áreas rurales de baja densidad demográfica: el caso de Castilla y León". *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles (BAEG)*. Nº 72, pag 195-220. Disponible en <https://www.age-geografia.es/ojs/index.php/bage/article/view/2337/2208>
- [6] Dols, P.; Soriano J. (2018). "Hacia un nuevo modelo de movilidad en la Plana de Castelló. Evolución y propuestas de la red de transporte público". *Biblio3W. Revista Bibliográfica de Geografía y Ciencias Sociales. Universidad de Barcelona*. Vol. 23, nº 1240. Disponible en <http://www.ub.edu/geocrit/b3w-1240.pdf>
- [7] Estrada, M.; Badia, H.; Daganzo, C.F.; Robusté, F.; Roca-Riu, M. (2011). "Design and implementation of efficient transit networks: Procedure, case study and validity test". *Transportation Research*. Vol. 45, Issue 9, pag. 935-950. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.tra.2011.04.006>
- [8] Estrada, M.; Salanova, J.; Medina-Tapia, M.; Robusté, F. (2019). "Operational cost and user performance analysis of on-demand bus and taxi systems". *Proceedings of the 22nd EURO Working Group on Transportation Meeting, EWGT 2019*, 18-20 September 2019, Barcelona, Spain. Disponible en Science Direct.
- [9] Hough, J.; Taleqani, A. (2018). "Future of rural transit". *Journal of Public Transportation*. Vol. 21, nº 1, pag 31-42. Disponible en <http://dx.doi.org/10.5038/2375-0901.21.1.4>
- [10] Laws, R.; Enoch, M.; Ison, S.; Potter, S. (2009). "Demand Responsive Transport: a review of Schemes in England and Wales". *Journal of Public Transportation*. Vol. 12, nº 1, pag 19-37. Disponible en <http://doi.org/10.5038/2375-0901.12.1.2>
- [11] McNally, M. (2008). "The four step model". *UC Irvine: Center for Activity Systems Analysis*. Disponible en <https://escholarship.org/uc/item/0r75311t>
- [12] Sulopuisto, O. (2016). "Why Helsinki's innovative on-demand bus service failed". *Eurbanlab. Accelerating urban innovations*. [En línea, consultado el 03/07/2019]. Disponible en <http://eurbanlab.eu/news/helsinkis-innovative-demand-bus-service-failed/>
- [13] Wang, C.; Quddus, M.; Enoch, M.; Ryley, T.; Davison, L. (2015). "Exploring the propensity to travel by demand responsive transport in rural area of Lincolnshire in England". *Case Studies on Transport Policy. Elsevier*. Vol. 3, nº 2, pag 129-136. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2014.12.006>

- [14] Diccionario del español jurídico. Real Academia Española (RAE). Transporte a la demanda. [En línea, consultado el 15/07/2019]. Disponible en: <https://dej.rae.es/lema/transporte-a-la-demanda>
- [15] *Ajuntament de Castelló de la Plana*. [En línea, consultado a partir del 28/04/2019]. Disponible en <http://www.castello.es/>
- [16] *Observatori Estadístic. Ajuntament de Castelló de la Plana*. [En línea, consultado a partir del 03/05/2019]. Disponible en <http://portalestadistico.com/municipioencifras/?pn=castello&pc=NBH91&idioma=val>
- [17] *Europa Press data. Paro En España hoy, según la EPA del INE*. [En línea, consultado el 10/08/2019]. Disponible en <https://www.epdata.es/datos/paro-espana-hoy-epa-ine/10/espana/106>
- [18] *Geoportal. Ajuntament de Castelló de la Plana*. [En línea, consultado el 08/05/2019]. Disponible en <http://www.castello.es/geoportal/index.php>
- [19] “Plano de la ciudad”. (2011) [Plano oficial de] *Ajuntament de Castelló de la Plana* [en línea]. Disponible en [http://www.castello.es/web20/archivos/contenidos/94/plano\\_castellon.pdf](http://www.castello.es/web20/archivos/contenidos/94/plano_castellon.pdf)
- [20] *Wikipedia: la enciclopedia libre. Castellón de la Plana*. [En línea, consultado el 10/07/2019]. Disponible en [https://es.wikipedia.org/wiki/Castell%C3%B3n\\_de\\_la\\_Plana](https://es.wikipedia.org/wiki/Castell%C3%B3n_de_la_Plana)
- [21] *Pla General. Ajuntament de Castelló de la Plana*. [En línea, consultado el 15/06/2019]. Disponible en <http://www.plageneralcastello.es/>
- [22] “Partidas del término municipal”. (2011) [Plano oficial de] *Ajuntament de Castelló de la Plana* [en línea]. Disponible en [http://www.castello.es/web20/archivos/contenidos/96/plano\\_partidas.pdf](http://www.castello.es/web20/archivos/contenidos/96/plano_partidas.pdf)
- [23] “Distritos y Secciones”. (2011) [Plano oficial de] *Ajuntament de Castelló de la Plana* [en línea]. Disponible en [http://www.castello.es/web20/archivos/contenidos/96/plano\\_distritos\\_secciones.pdf](http://www.castello.es/web20/archivos/contenidos/96/plano_distritos_secciones.pdf)
- [24] Barona, M. (2018). “Retro-urbanismo castellonense”. *Levante-EMV*. [En línea, consultado el 15/08/2019]. Disponible en <https://www.levante-emv.com/castello/2018/02/21/retro-urbanismo-castellonense/1682316.html>
- [25] *Google Maps. Castellón de la Plana*. [En línea, consultado el 20/06/2019]. Disponible en <https://www.google.com/maps/@39.987491,-0.0655726,4570m/>
- [26] “Plan de Movilidad Urbana Sostenible (P.M.U.S)”. (2012) [Informe de] *Ajuntament de Castelló de la Plana* [en línea]. Disponible en [http://www.castello.es/archivos/12/Plan2012/Textos/Catalogo\\_Plan\\_Acustico\\_Movilidad/Plan\\_de\\_Movilidad\\_Urbana.pdf](http://www.castello.es/archivos/12/Plan2012/Textos/Catalogo_Plan_Acustico_Movilidad/Plan_de_Movilidad_Urbana.pdf) y [http://www.castello.es/web20/archivos/menu0/1/adjuntos/Plan\\_MovilidadUrbana\\_Sostenible\\_20121016070326.pdf](http://www.castello.es/web20/archivos/menu0/1/adjuntos/Plan_MovilidadUrbana_Sostenible_20121016070326.pdf)
- [27] Castellón Información (2018). “El área metropolitana de Castellón registra más de 792.000 desplazamientos al día, 2.32 viajes por persona”. *Castellón Información*. [En línea, consultado el 15/08/2019]. Disponible en <https://www.castelloninformacion.com/encuesta-de-movilidad-area-metropolitana-de-castellon/>
- [28] *Transport urbà de Castelló (TUCS)* [En línea]. Disponible en <http://www.tucs.es>
- [29] “Guía Bus”. (2019) [Plano oficial de] *Ajuntament de Castelló de la Plana* [en línea]. Disponible en [http://www.castello.es/web20/archivos/menu0/1/adjuntos/Plano\\_Bus\\_2019\\_val.pdf](http://www.castello.es/web20/archivos/menu0/1/adjuntos/Plano_Bus_2019_val.pdf)
- [30] *Statista. Evolución del número de turistas por cada 1000 habitantes en España entre 1990 y 2018*. [En línea, consultado el 10/07/2019]. Disponible en <https://es.statista.com/estadisticas/535818/numero-de-turismos-por-cada-1000-habitantes-en-espana/>



- [31] Redacción NG (2019). “Las 10 ciudades españolas más Bike-friendly”. *National Geographic*. [En línea, consultado el 28/09/2019]. Disponible en [https://viajes.nationalgeographic.com.es/lifestyle/10-ciudades-espanolas-mas-bike-friendly\\_14229/8](https://viajes.nationalgeographic.com.es/lifestyle/10-ciudades-espanolas-mas-bike-friendly_14229/8)
- [32] *Smartcity. Ajuntament de Castelló de la Plana*. [En línea, consultado el 13/07/2019]. Disponible en <http://smartcity.castello.es/>
- [33] “Plan Smart City”. (2017) [Informe de] *Ajuntament de Castelló de la Plana* [en línea]. Disponible en [http://www.castello.es/smartcity/Plan\\_SmartCity.pdf](http://www.castello.es/smartcity/Plan_SmartCity.pdf)
- [34] Molina, M. (2019). “Taxicas, el nuevo transporte compartido a demanda en la carretera de l’Alcora y el camino Serradal”. *Cadena Ser*. [En línea, consultado el 28/05/2019]. Disponible en [https://cadenaser.com/emisora/2019/03/02/radio\\_castellon/1551534060\\_323662.html](https://cadenaser.com/emisora/2019/03/02/radio_castellon/1551534060_323662.html)
- [35] Redacción (2019). “Castellón activa un servicio de transporte a demanda para las áreas periféricas”. *El Periódico Mediterráneo*. [En línea, consultado el 28/05/2019]. Disponible en [https://www.elperiodicomediterraneo.com/noticias/castellon/castellon-activa-servicio-transporte-demanda-areas-perifericas\\_1206865.html](https://www.elperiodicomediterraneo.com/noticias/castellon/castellon-activa-servicio-transporte-demanda-areas-perifericas_1206865.html)
- [36] Ajuntament de Castelló. (2019). Taxicas (Versión 1.3.1) [Aplicación Móvil]. Descargado de [https://play.google.com/store/apps/details?id=es.castello.taxicas&hl=es\\_419](https://play.google.com/store/apps/details?id=es.castello.taxicas&hl=es_419) y <https://apps.apple.com/es/app/taxicas/id1439292001>
- [37] Observatori de Costos del Transport Discrecional de viatgers a Catalunya. Departament de Territori i Sostenibilitat. Generalitat de Catalunya. [En línea, consultado el 15/06/2019]. Disponible en [http://territori.gencat.cat/es/01\\_departament/06\\_estadistica/07\\_publicacions\\_estadistiques/01\\_territori\\_i\\_mobilitat/obs\\_costos\\_transport\\_discrecional/](http://territori.gencat.cat/es/01_departament/06_estadistica/07_publicacions_estadistiques/01_territori_i_mobilitat/obs_costos_transport_discrecional/)
- [38] Guerrero, D. (2019). “El bus a demanda se extenderá a más barrios de Barcelona”. *La Vanguardia*. [En línea, consultado el 20/09/2019]. Disponible en <https://www.lavanguardia.com/local/barcelona/20190827/464282640431/bus-a-demanda-torre-baro-barrios-barcelona.html>
- [39] Prat, J.; Pifarré, E.; Labraña, C.; Capdet, M.; Ventura F.; Macias, P.; Robusté, F.; León, V. (2019). “L’arribada del Transport Flexible a Catalunya”. *Revista MobiliCAT núm.10. Associació de municipis per la Mobilitat i el Transport Urbà (AMTU)*. [En línea, consultado el 20/09/2019]. Disponible en <https://www.amtu.cat/revista-mobilicat/2019-mobilicat-num-10-juliol-2019>
- [40] Asignatura *Transporte*, curso 2014/2015, ETSECCPB-UPC. Impartida en el GEC por Estrada, M.; Campos, J.; Grifoll, M.; Robusté, F.; Soriguera, F. Syllabus disponible en <https://ocw.camins.upc.edu/>
- [41] Asignaturas del departamento *Ville, Environnement et Transport (VET)*, curso 2015/2016, École des Ponts ParisTech (ENPC). Impartidas en la Formation d’Ingénieur 2A ET 3A. Disponibles en <http://gede.enpc.fr/Programme/Default.aspx?Langue=es>
- [42] Asignaturas del máster *Transport et Développement Durable (TraDD)*, curso 2017/2018, École des Ponts ParisTech, École Polytechnique et Mines ParisTech. Impartidas en la Formation Mastère. Disponibles en <http://gede.enpc.fr/Programme/Default.aspx?Langue=es>
- [43] Asignatura *Planificación y Gestión del Transporte en el Territorio*, curso 2018/2019, ETSECCPB-UPC. Impartida en el MECCP por Robusté, F.; Estrada, M.; Grifoll, M.; Macias, P.; Martínez, A.; Roca, E.; Soriguera, F. Syllabus disponible en <https://ocw.camins.upc.edu/>



- [44] Estancia profesional sobre la implantación de servicios de Transporte a la Demanda, curso 2018/2019, Padam Mobility. Convención de prácticas con École des Ponts ParisTech (ENPC) para la realización del *Projet Fin d'Études (PFE)*.
- [45] Asignatura *Urbanismo*, curso 2014/2015, ETSECCPB-UPC. Impartida en el GEC por Magrinyà, F.; Navas, T.; Rodríguez, D.; Vergés, R. Syllabus disponible en <https://ocw.camins.upc.edu/>
- [46] Asignatura *Economía, Empresa y Legislación*, curso 2012/2013, ETSECCPB-UPC. Impartida en el GEC por Garola, A.; Mirambell, A.; Vélez, G. Syllabus disponible en <https://ocw.camins.upc.edu/>
- [47] Asignatura *Ingeniería Computacional*, curso 2018/2019, ETSECCPB-UPC. Impartida en el MECCP por Rodríguez, A.; Sáez, P.; Sala, E.; Sanmartín A. Syllabus disponible en <https://ocw.camins.upc.edu/>
- [48] Asignatura *Geomática e Información Geográfica*, curso 2013/2014, ETSECCPB-UPC. Impartida en el GEC por Lantada, M.; Muñoz, J.; Puig, C.; Tre, J. Syllabus disponible en <https://ocw.camins.upc.edu/>